

19 BUNDESREPUBLIK
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES
PATENT- UND
MARKENAMT

12 Übersetzung der
europäischen Patentschrift

51 Int. Cl.⁷:
G 01 C 19/56

97 EP 0 691 524 B 1

10 DE 695 13 451 T 2

- 21 Deutsches Aktenzeichen: 695 13 451.5
96 Europäisches Aktenzeichen: 95 110 433.0
96 Europäischer Anmeldetag: 4. 7. 1995
97 Erstveröffentlichung durch das EPA: 10. 1. 1996
97 Veröffentlichungstag
der Patenterteilung beim EPA: 24. 11. 1999
47 Veröffentlichungstag im Patentblatt: 4. 5. 2000

DE 695 13 451 T 2

30 Unionspriorität:

15395394 05. 07. 1994 JP
16814294 20. 07. 1994 JP

73 Patentinhaber:

Mitsubishi Electric Corp., Tokio/Tokyo, JP

74 Vertreter:

Grünecker, Kinkeldey, Stockmair & Schwanhäusser,
80538 München

84 Benannte Vertragsstaaten:

DE, FR, GB, IT, NL, SE

72 Erfinder:

Terajima, Kokichi, c/o Akai Electric Co., Ltd, Ohta-ku,
Tokyo, JP

54 Schwingungskontrollgerät mit automatischer Verstärkungsregelung

Anmerkung: Innerhalb von neun Monaten nach der Bekanntmachung des Hinweises auf die Erteilung des europäischen Patents kann jedermann beim Europäischen Patentamt gegen das erteilte europäische Patent Einspruch einlegen. Der Einspruch ist schriftlich einzureichen und zu begründen. Er gilt erst als eingelegt, wenn die Einspruchsgebühr entrichtet worden ist (Art. 99 (1) Europäisches Patentübereinkommen).

Di Übersetzung ist gemäß Artikel II § 3 Abs. 1 IntPatÜG 1991 vom Patentinhaber eingereicht worden. Sie wurde vom Deutschen Patent- und Markenamt inhaltlich nicht geprüft.

DE 695 13 451 T 2

EP 95 110 433.0

mitsubishi electric corporation

Diese Erfindung bezieht sich auf eine Schwingungssteuerungsvorrichtung, die in einem piezoelektrischen Vibrationsgyroskop verwendet wird, und insbesondere auf eine Schwingungssteuerungsvorrichtung mit einer stabilisierten Detektionsempfindlichkeit für die Eingangswinkelgeschwindigkeit in einem großen Temperaturbereich und einem automatischen Verstärkungsfaktorsteuerschaltkreis.

Ein Beispiel für ein herkömmliches Vibrationsgyroskop ist in Fig. 13 dargestellt. In diesem Vibrationsgyroskop besitzt der Vibrator 4 piezoelektrische Elemente 2 und 3, die jeweils über entsprechende Impedanzelemente Z1 und Z2 mit der Außenseite einer Ansteuerungsvorrichtung 6 verbunden sind. Die Ausgangsseite dieser Ansteuerungsvorrichtung 6 ist über ein weiteres Impedanzelement Z3 mit einem Kondensatorelement C verbunden. Ansteuerungssignale von der Ansteuerungsvorrichtung 6 werden deshalb gleichzeitig an die piezoelektrischen Elemente 2 und 3 und das Kondensatorelement C geführt.

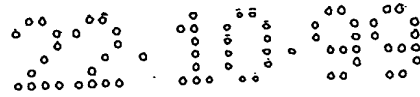
Die Ausgaben an den jeweiligen Knoten der Impedanzelemente Z1 und Z2 und der piezoelektrischen Elemente 2 und 3 werden kombiniert. Diese kombinierte Ausgabe und die Ausgabe am Knoten des Impedanzelementes Z3 und des Kondensatorelementes C werden einem Differenzverstärker 7 zugeführt. Die Ausgabe des Differenzverstärkers 7 wird an die Ansteuerungsvorrichtung 6 zurückgeführt, so daß der Vibrator 4 selbsttätig schwingt. Außerdem werden die Ausgaben der jeweiligen Knoten der Impedanzelemente Z1 und Z2 und der piezoelektrischen Elemente 2 und 3 einem weiteren Differenzverstärker 8 zugeführt, um ein Winkelgeschwindigkeitsdetektionssignal, basierend auf der Ausgabe von dem Differenzverstärker 8, zu erhalten.

Ein Beispiel für einen Vibrator 4, das in Fig. 14 gezeigt ist, besitzt eine quadratische Querschnittsform und weist ein piezoelektrisches Element 2 auf einer Seitenoberfläche 1a des Vibrationselementes 1 mit einem Resonanzpunkt auf und ein piezoelektrisches Element 3 auf einer weiteren Seitenoberfläche 1b, die an die Seitenoberfläche 1a

gr nzt. Ein weiteres Beispiel eines Vibrators 4, das in Fig. 15 gezeigt ist, weist piezoelektrische Elemente 2 und 3 auf, die in der Breitenrichtung auf derselben Seite des Vibrationselementes 1 geteilt sind. Ein weiteres Beispiel eines Vibrators 4, das in Fig. 16 gezeigt ist, weist piezoelektrische Elemente 2 und 3 auf gegenüberliegenden Seiten eines Vibrationselementes 1 auf. Ein weiteres Beispiel eines Vibrators 4, das in Fig. 17 gezeigt ist, weist die entsprechenden piezoelektrischen Elemente 2a und 2b auf gegenüberliegenden Seitenoberflächen des Vibrationselementes 1 auf und verbindet sie in paralleler Weise, so daß sie sich im wesentlichen wie ein piezoelektrisches Element 2 verhalten, und weist entsprechende piezoelektrische Elemente 3a und 3b auf den anderen gegenüberliegenden Seiten auf und verbindet diese in paralleler Weise, so daß sie sich im wesentlichen wie ein piezoelektrisches Element 3 verhalten.

Noch ein weiteres Beispiel eines Vibrators 4, das in Fig. 18 gezeigt ist, weist eine dreieckige Querschnittsform auf und besitzt piezoelektrische Elemente 2 und 3 auf zwei Seitenoberflächen des Vibrationselementes 1 mit einem Resonanzpunkt. Ein weiteres Beispiel eines Vibrators 4, das in Fig. 19 gezeigt ist, weist einen kreisförmigen Querschnitt auf und besitzt piezoelektrische Elemente 2 und 3 auf der äußeren Oberfläche des Vibrationselementes mit einem Resonanzpunkt. In allen diesen Beispielen sind somit zwei piezoelektrische Elemente auf den Seitenoberflächen der Vibrationselemente mit verschiedenen Schnittformen ausgebildet. Fig. 20 zeigt einen Ersatzschaltkreis für ein einzelnes piezoelektrisches Element für die in den Figuren 14 bis 19 gezeigten Vibratoren, das als ein Parallelresonanzschaltkreis dargestellt ist, der eine Dämpfungskapazität C_d besitzt, die in paralleler Weise mit einem Serienresonanzschaltkreis verbunden ist, der einen Induktor L_1 , einen Kondensator C_1 und einen Widerstand R_1 umfaßt. Außerdem sind die Vibratoren, die als Vibrationselement zwei piezoelektrische Elemente 2 und 3 umfassen, in Fig. 21 äquivalent dargestellt.

Das herkömmliche Vibrationsgyroskop, das in Fig. 13 gezeigt ist, führt Ansteuerungssignale von der Ansteuerungsvorrichtung 6 an die piezoelektrischen Elemente 2 und 3 über die Impedanzelemente Z_1 und Z_2 . Dies führt dazu, daß das Signal, das an die piezoelektrischen Elemente 2 und 3 geführt wird, abfällt, wenn die Impedanzen der piezoelektrischen Elemente 2 und 3 in der Nähe der mechanischen Serienresonanzfrequenz



f_s in dem Vibrator 4 absinken. Die Frequenz, bei der die Ausgabe des Differenzverstärkers 7 maximiert wird, und die mechanische Serienresonanzfrequenz f_s fallen nicht zusammen.

Um solche Probleme zu überwinden, hat der gleiche Anmelder in der japanischen Patentanmeldung Hei 6-2364 und in der japanischen Patentanmeldung Hei 6-10348 schon eine Schwingungssteuervorrichtung vorgeschlagen, die eine selbsterregte Schwingung durch Stabilisierung des Vibrators bei einer Frequenz hervorrufen kann, die auf die mechanische Serienresonanzfrequenz f_s des Vibrators eingestellt ist. Mit anderen Worten schwingt der Vibrator bei oder nahe seiner Resonanzfrequenz. Bei Verwendung in einem Vibrationsgyroskop kann die Vorrichtung ebenfalls wirksam die Bildung einer niedrigen Spannung und von Schwankungen in der Spannung vermindern.

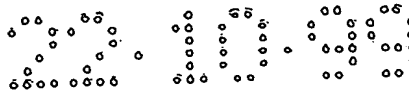
Fig. 22 zeigt ein Beispiel einer Schwingungssteuervorrichtung aus den obigen Patentanmeldungen des Anmelders. Diese Schwingungssteuervorrichtung ist eine, die Schwingungen in einem Vibrator 4 steuert, wie er in den Figuren 14 bis 19 gezeigt ist. Wie oben angesprochen, umfaßt ein solcher Vibrator 4 zumindest ein Paar piezoelektrische Elemente 2 und 3 auf der Seitenoberfläche des Vibrationselementes 1 mit verschiedenen Querschnittsformen und Resonanzpunkten. Ein Signalausgangsanschluß 9 der Ansteuervorrichtung 6 ist jeweils mit den Signaleingangsanschlüssen 11L und 11R des Rückkopplungsverstärkers 10L mit einem Rückkopplungswiderstand R_{fL} und einem Rückkopplungsverstärker 10R mit einem Rückkopplungswiderstand R_{fR} verbunden. Rückkopplungseingangsanschlüsse 12L und 12R der Rückkopplungsverstärker 10L und 10R sind jeweils mit einer der Elektroden der piezoelektrischen Elemente 2 und 3 verbunden, um das Ansteuerungssignal dem Vibrator zuzuführen. Die anderen Elektroden der piezoelektrischen Elemente 2 und 3 sind über einen Kondensator C_c mit einem Kompensationssignalausgangsanschluß 13 der Ansteuervorrichtung 6 verbunden, die ein Kompensationssignal für die Dämpfungskapazität des Vibrators 4 ausgibt, so daß das Kompensationssignal mit den Signalen der anderen Elektroden der piezoelektrischen Elemente 2 und 3 kombiniert wird. Dieses kombinierte Ausgangssignal wird durch einen Summationsverstärker 17 verstärkt. Der Signalausgangs-

schluß 18 ist mit dem Eingangsanschluß 14 der Ansteuerungsvorrichtung 6 verbunden, so daß in dem Vibrator 4 eine selbsterregte Schwingung hervorgerufen wird.

Die Ausgabe des Summationsverstärkers 17 und das Ansteuerungssignal am Signalausgangsanschluß 9 werden dem Differenzverstärker 22 zugeführt und differentiell verstärkt. Die Ausgabe des Differenzverstärkers 22 wird über einen variablen Widerstand VR den Rückkopplungseingangsanschlüssen 12L und 12R der Rückkopplungsverstärker 10L und 10R zugeführt, um diesen Eingangsanschlüssen Strom zuzuführen. Die Ströme variieren in Abhängigkeit von den Stromwerten, die in den Ersatzwiderständen der piezoelektrischen Elemente 2 und 3 fließen, d.h. abhängig von den Temperaturabhängigkeiten. Die Ausgaben der Rückkopplungsverstärker 10L und 10R werden einem Differenzverstärker 20 zugeführt, so daß die Coriolis-Kraft, die aus der Winkelgeschwindigkeit herrührt, die auf den Vibrator 4 einwirkt, als Spannung erfaßt werden kann. Außerdem werden die jeweiligen Rückkopplungswiderstände R_{fL} und R_{fR} zwischen die Ausgangsseiten der Rückkopplungsverstärker 10L und 10R und die Seiten der entsprechenden Rückkopplungseingangsanschlüsse 12L und 12R geschaltet.

Fig. 23 zeigt ein Beispiel der Ansteuerungsvorrichtung 6 mit dem Kompensationssignalausgangsanschluß 13, wie in Fig. 22 gezeigt. Diese Ansteuerungsvorrichtung 6 besitzt einen nicht-invertierenden Verstärker 15 und einen invertierenden Verstärker 16. Das Signal von dem Eingangsanschluß 14 wird in dem nicht-invertierenden Verstärker 15 verstärkt. Die Ausgabe von dem nicht-invertierenden Verstärker 15 wird im invertierenden Verstärker 16 verstärkt und anschließend dem Signalausgangsanschluß 9 als Ansteuerungssignal zugeführt. Die Ausgabe des nicht-invertierenden Verstärkers 15 wird ebenfalls dem Signalausgangsanschluß 9 als ein Kompensationssignal zugeführt. Das Ansteuerungssignal und das Kompensationssignal besitzen eine Phasendifferenz von 180° . Die Amplitudenverhältnisse dieser Signale werden durch den invertierenden Verstärker 16 geeignet eingestellt.

Bei der in Fig. 22 dargestellten Vibrationssteuerungsvorrichtung werden Imaginärteile des Stroms, der in den piezoelektrischen Elementen 2 und 3 bezüglich zu den Dämpfungskapazitäten C_d fließt, durch das kombinierte Kompensationssignal über den Kon-



densator C_c ausgelöscht. Die Ausgabe des Summationsverstärkers 17 besteht deshalb nur aus dem Realteil des in den piezoelektrischen Elementen 2 und 3 fließenden Stroms. Dementsprechend wird die Spannungsverstärkung des Summationsverstärkers 17 bei der mechanischen Serienresonanzfrequenz f_s des Vibrators 4 maximiert, wodurch es deshalb möglich wird, eine selbsterregte Schwingung durch Stabilisierung des Vibrators 4 bei einer Frequenz hervorzurufen, die in guter Übereinstimmung mit der mechanischen Serienresonanzfrequenz f_s ist. Mit anderen Worten schwingt der Vibrator bei oder nahe seiner Resonanzfrequenz. Die bei der mechanischen Serienresonanzfrequenz f_s selbsterregte Schwingung verwendet ebenfalls einen Kondensator C_c mit einer Temperaturabhängigkeit, die der Temperaturabhängigkeit der Dämpfungskapazitäten C_d des Vibrators 4 entspricht, so daß eine weitere Stabilisierung möglich wird.

Wie oben beschrieben, wird die selbsterregte Schwingung durch zumindest ein Paar von piezoelektrischen Elementen ohne Verwendung eines unabhängigen piezoelektrischen Elementes zur Erhaltung einer Rückkopplungsausgabe hervorgerufen. Amplitudenschwankungen, die Charakteristikunterschiede in den piezoelektrischen Elementen selbst begleiten, treten nicht auf, wie in den Fällen, bei denen ein Rückkopplungs-piezoelektrisches-Element für eine selbsterregte Schwingung separat von dem Ansteuerungs-piezoelektrischen-Element vorgesehen ist. Die Ströme jedoch, die durch das Paar der Rückkopplungs-piezoelektrischen-Elemente 2 und 3 fließen, die den Vibrator 4 bilden, werden durch die Impedanz des Vibrators 4 festgelegt. Wenn sich die Ersatzwiderstände und die Dämpfungskapazität des Vibrators 4 aufgrund der Umgebungstemperatur verändern, verändern sich die Ströme deshalb ebenfalls.

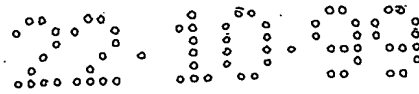
Bei der obigen Vibrationsssteuerungsvorrichtung werden Schwankungen der Dämpfungskapazität aufgrund von Temperaturänderungen durch den Kondensator C_c kompensiert. Schwankungen oder Abweichungen der Ersatzwiderstände aufgrund von Temperaturänderungen werden durch Zuführung der Ausgabe des Differenzverstärkers 22 an die Rückkopplungseingangsanschlüsse 12L und 12R der Rückkopplungsverstärker 10L und 10R über den variablen Widerstand VR kompensiert. Es gibt jedoch keine Steuerung für die Temperaturänderungen in den kombinierten Strömen, die durch die piezoelektrischen Elemente 2 und 3 fließen. Es ist ebenfalls schwierig, diese Schwan-

kungen vollständig zu kompensieren. Aufgrund von Temperaturschwankungen schwankt die Amplitude der selbsterregten Schwingung in dem Vibrator 4 entgegengesetzt zu den Ersatzwiderständen. Die Amplitude der Schwingung, die der Eingangswinkelgeschwindigkeit entspricht, schwankt ebenfalls entsprechend der Richtung der selbsterregten Schwingung und in der dazu orthogonalen Richtung, so daß die Detektionsempfindlichkeit schwankt und die Detektionsgenauigkeit schließlich abnehmen kann.

Ein weiterer Ansteuerungsschaltkreis nach dem Stand der Technik für ein Gyroskop ist aus EP-A-0 584 798 bekannt. Der beschriebene Ansteuerungsschaltkreis umfaßt einen Oszillationsschaltkreis, der mit einem Rückkopplungs-piezoelektrischen-Element verbunden ist und ein verstärktes Rückkopplungssignal an einen AGC-Schaltkreis über einen Phasenverschiebungsschaltkreis bereitstellt. Dem AGC-Schaltkreis wird weiterhin ein Rückkopplungssignal von einem Hilfsrückkopplungs-piezoelektrischen-Element zugeleitet und er stellt ein Ansteuerungssignal für die Ansteuerung und Erfassung piezoelektrischer Elemente bereit.

Es ist die Aufgabe der Erfindung, eine Schwingungssteuerungsvorrichtung zu schaffen, die eine stabilisierte selbsterregte Schwingung ohne Amplitudenschwankungen auch bei Veränderung der Umgebungstemperatur bewirkt. Bei Verwendung mit einem Vibrationsgyroskop erhöht die Vorrichtung dementsprechend die Detektionsgenauigkeit durch Eliminierung der Temperaturabhängigkeit der Eingangswinkelgeschwindigkeits-Detektionsempfindlichkeit.

In einer ersten Ausführungsform der Erfindung besitzt die Schwingungssteuerungsvorrichtung eine Ansteuerungsvorrichtung mit einem automatischen Verstärkungsfaktorsteuerschaltkreis und einem Vibrator mit zumindest einem Paar piezoelektrischen Elemente auf der Seitenoberfläche eines Schwingungselementes mit einem Resonanzpunkt. Die Ansteuerungsvorrichtung ruft in dem Vibrator eine selbsterregte Schwingung hervor, während der kombinierte Stromwert der jeweiligen Ströme, die durch das Paar piezoelektrischer Elemente fließen, konstant gehalten wird.



Da der kombinierte Stromwert der Ströme, die durch das Paar piezoelektrischer Elemente fließen, konstant gehalten wird, werden die Ersatzwiderstände des Vibrators scheinbar ohne Beziehung zu den Umgebungstemperaturveränderungen konstant gehalten. Dementsprechend besitzt der Vibrator eine selbsterregte Schwingung mit einer konstanten festen Amplitude. Bei Verwendung in einem Vibrationsgyroskop, das die Winkelgeschwindigkeit unter Verwendung desselben Paares von piezoelektrischen Elementen erfaßt, findet eine wirksame Unterdrückung von Schwankungen der Amplitude der Schwingung bezüglich zu der Eingangswinkelgeschwindigkeit in Richtung der selbsterregten Schwingung und der orthogonalen Richtung statt, die von der Temperatur hervorgerufen werden.

In einer zweiten Ausführungsform der Erfindung ruft die Ansteuerungsvorrichtung eine selbsterregte Schwingung in dem Vibrator hervor, während der kombinierte Stromwert der Ströme, die durch das Paar piezoelektrischer Elemente fließen, von denen kombinierte Ströme entsprechend zu der Dämpfungskapazität abgezogen wurden, konstant gehalten wird.

Da der kombinierte Stromwert der Ströme, die durch das Paar piezoelektrischer Elemente fließen, von denen der Strom, der der Dämpfungskapazität entspricht, abgezogen worden ist, d.h., der Realteil des Stroms, konstant gehalten wird, werden die Ersatzwiderstände des Vibrators scheinbar ebenfalls ohne Beziehung zu den Veränderungen der Umgebungstemperatur konstant gehalten. Dementsprechend besitzt der Vibrator eine genauere selbsterregte Schwingung mit einer konstanten festen Amplitude. Bei Verwendung mit einem Vibrationsgyroskop, das die Winkelgeschwindigkeit durch Verwendung desselben Paares piezoelektrischer Elemente erfaßt, werden deshalb die von der Temperatur hervorgerufenen Schwingungsänderungen, die der Eingangswinkelgeschwindigkeit in der selbsterregten Schwingungsrichtung und in der orthogonalen Richtung entsprechen, ebenfalls mit größerer Zuverlässigkeit unterdrückt.

In einer dritten Ausführungsform der Erfindung besitzt die Schwingungssteuerungsvorrichtung eine Ansteuerungsvorrichtung, die eine selbsterregte Schwingung in einem Vibrator mit zumindest einem Paar piezoelektrischer Elemente auf der Seitenoberfläche

eines Schwingungselementes mit einem Resonanzpunkt hervorruft. Ein Ansteuerungssignalausgabeschaltkreis gibt ein Ansteuerungssignal aus, das dem Paar piezoelektrischer Elemente zugeführt wird. Der Verstärkungsfaktor des Ansteuerungssignalausgabeschaltkreises besitzt eine Temperaturabhängigkeit, die den Temperaturabhängigkeiten der Ersatzwiderstände des Vibrators entspricht. Ein automatischer Verstärkungsfaktorsteuerschaltkreis hält den kombinierten Strom der Ströme, die durch das Paar piezoelektrischer Elemente fließen, konstant.

Da der kombinierte Stromwert der Ströme, die durch das Paar piezoelektrischer Elemente fließen, durch den automatischen Verstärkungsfaktorsteuerschaltkreis konstant gehalten wird, wird eine stabilisierte selbsterregte Schwingung ohne Schwankungen in der Amplitude hervorgerufen. Der Spannungsverstärkungsfaktor des Ansteuerungssignalausgabeschaltkreises besitzt eine Temperaturabhängigkeit, die der Temperaturabhängigkeit der Ersatzwiderstände des Vibrators entspricht, so daß auch bei Schwankungen der Umgebungstemperatur Schwankungen in dem Strom, der durch die Ersatzwiderstände des Vibrators fließt, gesteuert werden. Dementsprechend wird der Regelbereich des automatischen Verstärkungsfaktorsteuerschaltkreises vermindert, und es ist möglich, seinen funktionsfähigen Bereich wesentlich zu erweitern.

In einer vierten Ausführungsform der Erfindung besitzt der Ansteuerungssignalausgabeschaltkreis einen Verstärkungsfaktor mit einer Temperaturabhängigkeit, die den Temperaturabhängigkeiten der Ersatzwiderstände des Vibrators entgegengesetzt ist. Der automatische Verstärkungsfaktorsteuerschaltkreis hält den kombinierten Strom der Ströme, die durch das Paar piezoelektrischer Elemente fließen, von dem ein Strom entsprechend zu der Dämpfungskapazität abgezogen worden ist, konstant.

Da der kombinierte Strom der Ströme, die durch ein Paar piezoelektrischer Elemente fließen, von denen ein Strom entsprechend zu der Dämpfungskapazität abgezogen worden ist, d.h. der Realteil des kombinierten Stroms, durch den automatischen Verstärkungsfaktorsteuerschaltkreis konstant gehalten wird, wird eine stabilisierte selbsterregte Schwingung ohne Amplitudenschwankungen hervorgerufen. Der Spannungsverstärkungsfaktor des Ansteuerungssignalausgabeschaltkreises, der das Ansteuerungs-

signal ausgibt, das dem Paar piezoelektrischer Elemente zugeführt wird, besitzt eine Temperaturabhängigkeit, die nicht der Temperaturabhängigkeit der Dämpfungskapazität des Vibrators entspricht. Auch bei Schwankungen der Umgebungstemperatur werden deshalb Schwankungen in dem Strom, der durch die Ersatzwiderstände des Vibrators fließt, kontrolliert. Dementsprechend ist der Regelbereich des automatischen Verstärkungsfaktorsteuerschaltkreises vermindert, und es ist möglich, seinen funktionsfähigen Bereich wesentlich zu erweitern.

Ein Strom, der durch die piezoelektrischen Elemente fließt, variiert in Abhängigkeit von den Schwankungen in den Ersatzwiderstandswerten und den Dämpfungskapazitätswerten des Vibrators. Wenn eine selbsterregte Schwingung in dem Vibrator durch das Paar piezoelektrischer Elemente selbst hervorgerufen wird, begleiten keine Amplitudenschwankungen die Charakteristikunterschiede piezoelektrischer Elemente zur Ansteuerung und Rückkopplung, wie in dem Fall selbsterregter Schwingungen unter Verwendung jeweils separater piezoelektrischer Elemente zur Ansteuerung und Rückkopplung. Die Amplitude der selbsterregten Schwingung des Vibrators variiert deshalb mit den Ersatzwiderständen und inversen Werten. Bei der Erfassung der Winkelgeschwindigkeit unter Verwendung desselben Paares piezoelektrischer Elemente wird weiterhin die Detektionsempfindlichkeit für die Winkelgeschwindigkeit durch die Amplitude der Schwingung in der selbsterregten Schwingungsrichtung und in der orthogonalen Richtung bestimmt. In diesem Fall beziehen sich jedoch Schwankungen in diesen Schwingungen auf dasselbe Paar piezoelektrischer Elemente, so daß, wenn eine Amplitudenrichtung konstant gehalten wird, die andere orthogonale Richtung ebenfalls konstant gehalten wird. Wenn die Ersatzwiderstände des Vibrators so gesteuert werden, um scheinbar konstant gehalten zu werden, ist es dementsprechend möglich, die Detektionsempfindlichkeit für die Winkelgeschwindigkeit konstant zu halten.

Die Temperaturabhängigkeiten der Ersatzwiderstände und der Dämpfungskapazität des Vibrators, wie beispielsweise in Fig. 24 gezeigt, haben gewöhnlich die Tendenz, unterschiedlich zu sein, so daß die Temperaturabhängigkeiten der Ströme, die auf der Seite der Ersatzwiderstände und auf der Seite der Dämpfungskapazität des Vibrators fließen, die Tendenz haben, ähnlich zu sein. Wenn der Spannungsverstärkungsfaktor des An-

steuerungssignalausgabeschaltkreises eine Temperaturabhängigkeit besitzt, die sich von der Temperaturabhängigkeit der Dämpfungskapazität des Vibrators unterscheidet, so weist dementsprechend der Strom, der auf der Seite der Dämpfungskapazität fließt, immer dieselbe Amplitude wie der Strom der Dämpfungskapazität auf. Da die Temperaturabhängigkeiten der Stromwerte, die auf der Seite der Ersatzwiderstände und der Seite der Dämpfungskapazität des Vibrators, eine Tendenz haben, ähnlich zu sein, werden Schwankungen in dem Strom, der in den Ersatzwiderständen des Vibrators fließt, unterdrückt. Dementsprechend wird der Regelbereich des automatischen Verstärkungsfaktorsteuerschaltkreises vermindert und sein funktionsfähiger Bereich wird wesentlich erweitert.

Fig. 1 zeigt ein erstes Beispiel der Erfindung,

Fig. 2A zeigt ein Beispiel der Ansteuerungsvorrichtung aus Fig. 1,

Fig. 2B zeigt ein alternatives Beispiel der in Fig. 1 dargestellten Ansteuerungsvorrichtung,

Fig. 3 zeigt ein zweites Beispiel der Erfindung,

Fig. 4 zeigt ein drittes Beispiel der Erfindung,

Fig. 5A zeigt ein Beispiel der in Fig. 4 gezeigten Ansteuerungsvorrichtung,

Fig. 5B zeigt ein alternatives Beispiel der in Fig. 4 gezeigten Ansteuerungsvorrichtung,

Fig. 6 zeigt ein viertes Beispiel der Erfindung,

Fig. 7 zeigt ein fünftes Beispiel der Erfindung,

Fig. 8 zeigt ein sechstes Beispiel der Erfindung,

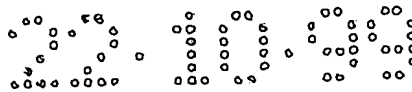


Fig. 9 zeigt ein siebtes Beispiel der Erfindung,

Fig. 10A zeigt ein Beispiel der in Fig. 9 gezeigten Ansteuerungsvorrichtung,

Fig. 10B zeigt ein alternatives Beispiel der in Fig. 9 gezeigten Ansteuerungsvorrichtung,

Fig. 11 zeigt ein achttes Beispiel der Erfindung,

Fig. 12A zeigt ein Beispiel der in Fig. 11 gezeigten Ansteuerungsvorrichtung,

Fig. 12B zeigt ein alternatives Beispiel der in Fig. 11 gezeigten Ansteuerungsvorrichtung,

Fig. 13 zeigt eine herkömmliche Schwingungssteuerungsvorrichtung,

Figuren 4 bis 19 zeigen Beispiele von Vibratoren, die für die Erfindung verwendet werden können,

Fig. 20 zeigt ein Ersatzschaltbild eines Vibrators,

Fig. 21 zeigt die Darstellung des Vibrators,

Fig. 22 zeigt ein Beispiel einer Schwingungssteuerungsvorrichtung, die von dem Erfinder in in Bezug genommenen Patentanmeldungen offenbart ist,

Fig. 23 zeigt ein Beispiel der in Fig. 22 gezeigten Ansteuerungsvorrichtung, und

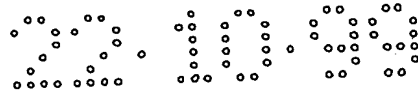
Fig. 24 zeigt die Temperaturabhängigkeit des Ersatzwiderstandes und der Dämpfungskapazität des Vibrators.

Die Erfindung wird anhand von Beispielen unter Bezugnahme auf die Zeichnungen beschrieben.

Fig. 1 zeigt ein Beispiel der Erfindung, wie es mit einem Vibrationsgyroskop verwendet wird, das die Winkelgeschwindigkeit erfaßt. Beispiele der Vibratoren 4 sind in den Figuren 14 bis 19 dargestellt. Diese Vibratoren 4 werden aus zumindest zwei piezoelektrischen Elementen 2 und 3 auf den Seitenoberflächen eines Vibrationselementes 1 gebildet, die verschiedene Querschnittsformen und Resonanzpunkte und eine vorgegebene selbsterregte Schwingung aufweisen.

In Fig. 1 ist ein Signalausgangsanschluß 9 der Ansteuerungsvorrichtung 60 jeweils mit den Signaleingangsanschlüssen 11L und 11R der Rückkopplungsverstärker 10L und 10R verbunden. Rückkopplungseingangsanschlüsse 12L und 12R der Rückkopplungsverstärker 10L und 10R sind jeweils mit einer Elektrode von jedem der piezoelektrischen Elemente 2 und 3 verbunden. Die anderen Elektroden der piezoelektrischen Elemente 2 und 3 sind mit der Umkehrungseingangsanschlußseite des Summationsverstärkers 17 mit einem Rückkopplungswiderstand R_{fy} verbunden, so daß die Spannung entsprechend zu dem Produkt des Rückkopplungswiderstandes R_{fy} und den kombinierten Strömen, die durch die piezoelektrischen Elemente 2 und 3 fließen, einem Ausgangsanschluß 18 zugeleitet wird. Die Ausgangsspannung am Ausgangsanschluß 18 wird an den Eingangsanschluß 14 der Ansteuerungsvorrichtung 60 geleitet, so daß dem Vibrator 4 eine selbsterregte Schwingung vorgegeben wird. Die Ausgaben der rückgekoppelten Verstärker 10L und 10R werden dem Differenzverstärker 20 zugeführt, so daß die Coriolis-Kraft, die von der Winkelgeschwindigkeit herrührt, die auf den Vibrator 4 einwirkt, als Spannung erfaßt werden kann. Weiterhin werden die Rückkopplungswiderstände R_{fL} und R_{fR} jeweils mit der Ausgangsseite jedes Rückkopplungsverstärkers 10L und 10R und den entsprechenden Rückkopplungseingangsanschlüssen 12L und 12R verbunden.

Fig. 2A zeigt ein Beispiel der in Fig. 1 gezeigten Ansteuerungsvorrichtung 60. Diese Ansteuerungsvorrichtung 60 besitzt einen automatischen Verstärkungsfaktorsteuerschaltkreis 28 ("AGC-Schaltkreis"), einen nicht-invertierenden Verstärker 25 und einen invertierenden Verstärker 26. Der AGC-Schaltkreis 28 besitzt einen Komparator 23 und eine Schwingungssteuerungseinrichtung 24. Im Komparator 23 wird das Eingangssignal



vom Eingangsanschluß 14 Gleichstrom und wird mit einem Referenzpegel verglichen. Ein Gleichstromsignal, das dem Vergleichsergebnis entspricht, wird erzeugt und an die Schwingungssteuerungseinrichtung 24 weitergeleitet. Die Schwingungssteuerungseinrichtung 24 umfaßt beispielsweise einen FET. Ein Eingangssignal vom Eingangsanschluß 14 wird an die Source- und Drain-Wege des FET geleitet. Die Ausgabe des Komparators 23 wird an das Gate des FET geleitet, um die Amplitude des Signals, das vom Eingangsanschluß 14 erhalten wird, basierend auf der Ausgabe des Komparators 24 zu steuern. Der AGC-Schaltkreis 28 ist nicht auf dieses Beispiel beschränkt und kann beispielsweise unter Verwendung eines integrierten Multiplizierers aufgebaut sein.

Die Ausgabe des AGC-Schaltkreises 28 wird auf einen vorbestimmten Wert durch den nicht-invertierenden Verstärker 25 verstärkt und anschließend am invertierenden Verstärker 26 invertiert und an den Signalausgangsanschluß 9 weitergeleitet. Der invertierende Verstärker 26 invertiert das Signal von dem nicht-invertierenden Verstärker 25 und fügt den Vibrator 4 in die positive Rückkopplungsschleife ein, wie schon durch denselben Anmelder in der japanischen Patentoffenbarung Hei 5-113336 vorgeschlagen wurde, die hierdurch durch Bezugnahme mit eingeschlossen wird.

Wie in Fig. 2B gezeigt, kann die Ansteuerungsvorrichtung 60 einen Ansteuerungssignalausgabeschaltkreis 29 umfassen. Der Ansteuerungssignalausgabeschaltkreis 29 besitzt einen nicht-invertierenden Verstärker 25 und einen invertierenden Verstärker 26. Die Signalausgabe der Schwingungssteuerungseinrichtung 24 des AGC-Schaltkreises 28 wird auf einen vorbestimmten Wert am nicht-invertierenden Verstärker 25 verstärkt und anschließend am invertierenden Verstärker 26 invertiert und an den Signalausgangsanschluß 9 weitergeleitet. Die Amplitude des Signals wird durch die Schwingungssteuerungseinrichtung 24 gesteuert. Weiterhin invertiert der invertierende Verstärker 26 das Signal vom nicht-invertierenden Verstärker 25 und, wie zuvor durch den Anmelder in der japanischen Patentoffenbarung Hei 5-113336 vorgeschlagen, fügt den Vibrator 4 in die normale Rückkopplungsschleife.

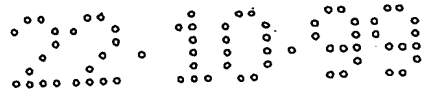
In diesem Beispiel schwankt die Ausgabe des Ansteuerungssignalausgabeschaltkreises 29 entsprechend den Temperaturabhängigkeiten der Ersatzwiderstände des Vibrators

4. Der Rückkopplungswiderstand R_{f26} des invertierenden Verstärkers 26 enthält deshalb einen Thermistor R_T mit negativer Charakteristik, der die Temperaturabhängigkeit der Ersatzwiderstände des Vibrators 4 besitzt, beispielsweise eine Temperaturabhängigkeit entsprechend der Temperaturabhängigkeit des in Fig. 24 gezeigten Ersatzwiderstandes.

Wenn die Ersatzwiderstände der piezoelektrischen Elemente 2 und 3 aufgrund von Schwankungen in der Umgebungstemperatur erhöht werden oder abnehmen, nimmt der Strom, der durch die piezoelektrischen Elemente 2 und 3 fließt, entsprechend ab oder zu. Deshalb fällt oder steigt der Pegel des Ausgangssignals des Komparators 23 in der Ansteuerungsvorrichtung 60. Durch diese Maßnahmen kann der Widerstand zwischen der Source und Drain des FET der Amplitudensteuerungseinrichtung 24 entweder erhöht oder erniedrigt werden, so daß die Größe des Signals, das an den invertierenden Verstärker 26 geleitet wird, zunimmt oder abnimmt, bis die Signaleingabe an den Komparator 23 einen konstanten Wert erreicht, der dem Referenzpegel entspricht.

Wenn der Strom, der durch die piezoelektrischen Elemente 2 und 3 fließt, aufgrund der Änderungen in der Umgebungstemperatur ab- oder zunimmt, nimmt die Spannungsverstärkung des invertierenden Verstärkers 26 ebenfalls gleichzeitig aufgrund der Temperaturabhängigkeit des Thermistors R_T zu oder ab. Im Ergebnis wird der Betrag der Ab- oder Zunahme des Stroms, der durch die piezoelektrischen Elemente 2 oder 3 fließt, unterdrückt und Verstärkungsänderungen in dem Signal, das dem Eingangsanschluß 14 der Ansteuerungsvorrichtung 60 zugeführt wird, können auf einen kleinen Grad unterdrückt werden.

Dementsprechend werden Änderungen aufgrund von Temperaturänderungen in der Ausgabe des Komparators 23 klein. Der Betrag der Änderung in dem Widerstand zwischen der Source und Drain des FET der Amplitudensteuerungseinrichtung 24 wird ebenfalls klein. Im Ergebnis werden die Änderungen des Stroms über einen großen Temperaturbereich klein, auch bei großen Änderungen in den Ersatzwiderständen des Vibrators 4. Es ist möglich, den funktionsfähigen Bereich des AGC-Schaltkreises 28 wesentlich auszudehnen.



Da die Ausgangsspannung des Summationsverstärkers 17, d.h. der kombinierte Strom, der durch die piezoelektrischen Elemente 2 und 3 fließt, konstant gehalten wird, werden auf diese Weise die Ersatzwiderstände des Vibrators 4 in der selbsterregten Schwingungsrichtung scheinbar konstant gehalten. Im Ergebnis wird der Ersatzwiderstand auf Schwingung in der Detektionsrichtung des Vibrators 4, der von denselben piezoelektrischen Elementen 2 und 3 gebildet wird, ebenfalls scheinbar konstant gehalten. Die Detektionsempfindlichkeit für die Eingangswinkelgeschwindigkeit wird unabhängig von Änderungen in der Umgebungstemperatur konstant gehalten, wodurch eine höhere Genauigkeit der Detektion ermöglicht wird.

Fig. 3 zeigt ein zweites Beispiel der Erfindung. In dieser Ausführungsform wird die Ausgabe des Summationsverstärkers 17 am Ausgangsanschluß 18 invers im invertierenden Verstärker 19 verstärkt. Mit anderen Worten, die Ausgabe des Summationsverstärkers 17 wird im invertierenden Verstärker 19 invertiert und gleichphasig mit dem Ansteuerungssignal gemacht. Die Ausgabe vom invertierenden Verstärker 19, d.h. ein mit dem Ansteuerungssignal gleichphasiges Signal, wird über einen variablen Widerstand VR an die Rückkopplungseingangsanschlüsse 12L und 12R der rückgekoppelten Verstärker 10L und 10R geführt. Dieses gleichphasige Signal fließt an die Rückkopplungseingangsanschlüsse 12L und 12R nach Ausgleich der winzigen Unterschiede in den Ersatzwiderständen der piezoelektrischen Elemente 2 und 3 mit dem variablen Widerstand VR. Die übrigen Komponenten sind dieselben wie in Fig. 1. Zumindest einer der Rückkopplungswiderstände R_{fL} und R_{fR} der Rückkopplungsverstärker 10L und 10R (in diesem Beispiel der Rückkopplungswiderstand R_{fR}) ist ein variabler Widerstand.

In diesem Beispiel werden die sehr kleinen Differenzen in den Ersatzwiderständen der piezoelektrischen Elemente 2 und 3 durch einen variablen Widerstand VR ausgeglichen. Der Realteil des Stroms entsprechend zu dem Strom, der in den Ersatzwiderständen der piezoelektrischen Elemente 2 und 3 fließt, fließt in die Rückkopplungseingangsanschlüsse 12L und 12R. Der Strom, der in den Rückkopplungswiderständen R_{fL} und R_{fR} fließt, wird dem Strom der Dämpfungskapazität der piezoelektrischen Elemente 2 und 3 gleichgemacht. Winzige Differenzen in der Dämpfungskapazität der piezoelektrischen Elemente 2 und 3 werden durch einen variablen Rückkopplungswiderstand R_{fR}

ausgeglichen, so daß die jeweiligen Produkte des Imaginärteils des Stroms entsprechend den jeweiligen Strömen, die in der Dämpfungskapazität der piezoelektrischen Elemente 2 und 3 und dem entsprechenden Rückkopplungswiderstand R_{fL} und dem variablen Rückkopplungswiderstand R_{fR} fließen, d. h. die Spannung des Imaginärteils des Stroms, gleich wird.

Wenn dies getan ist, entspricht der Strom, der in die Rückkopplungseingangsanschlüsse 12L und 12R der Rückkopplungsverstärker 10L und 10R fließt, dem Strom, der in den Ersatzwiderständen der jeweiligen piezoelektrischen Elemente 2 und 3 fließt, und schwankt entsprechend zu ihren Temperaturabhängigkeiten. Deshalb fließt nur Strom, der der Coriolis-Kraft entspricht, in die Rückkopplungswiderstände R_{fL} und R_{fR} der Rückkopplungswiderstände 10L und 10R. Dementsprechend können Bildungen einer niedrigen Spannung in den Rückkopplungswiderständen 10L und 10R wirksam vermindert werden. Da die Phasenkomponente, die der Eingangswinkelgeschwindigkeit entspricht, ebenfalls wirksam verstärkt werden kann, wird es möglich, die Winkelgeschwindigkeit mit einer höheren Genauigkeit zusätzlich zu dem Effekt des Beispiels 1 zu erfassen.

Fig. 4 zeigt Beispiel 3 der Erfindung. Das System dieses Beispiels verwendet eine Ansteuerungsvorrichtung 61 mit einem Kompensationssignalausgangsanschluß 13, der das Kompensationssignal der Dämpfungskapazität des Vibrators 4 ausgibt. Dieses Kompensationssignal wird mit den anderen Elektrodensignalen der piezoelektrischen Elemente 2 und 3 über einen Kondensator C_c kombiniert. Die Ausgabe des Summationsverstärkers 17 und das Ansteuerungssignal der Ansteuerungsvorrichtung 61 werden einem Differenzverstärker 22 zugeführt und differentiell verstärkt. Die Ausgabe des Differenzverstärkers 22 wird über einen variablen Verstärker VR den Rückkopplungseingangsanschlüssen 12L und 12R in derselben Weise wie in Fig. 3 zugeführt.

Fig. 5A zeigt ein Beispiel einer in Fig. 4 gezeigten Ansteuerungsvorrichtung 61. Abgesehen davon, daß die Ausgabe des nicht-invertierenden Verstärkers 25 dem invertierenden Verstärker 26 zugeführt wird, führt die Ansteuerungsvorrichtung 61 ebenfalls ein Kompensationssignal an einem Kompensationssignalausgangsanschluß 13. Das übrige

dieses Systems ist dasselbe wie in Fig. 2. Es gibt eine 180° Differenz in der Phase zwischen der Ansteuerungssignalausgabe an den Signalausgangsanschluß 9 und der Kompensationssignalausgabe an dem Kompensationssignalausgangsanschluß 13. Ihr Amplitudenverhältnis ist durch den invertierenden Verstärker 26 geeignet eingestellt.

In diesem Beispiel werden die Imaginärteile der Ströme, die in den piezoelektrischen Elementen 2 und 3 relativ zu den jeweiligen Dämpfungskondensatoren C_d fließen, durch das Kompensationssignal, das über einen Kondensator C_c geführt wird, ausgelöscht, so daß die Ausgabe des Summationsverstärkers 17 nur aus dem Realteil der Ströme besteht, die in den piezoelektrischen Elementen 2 und 3 fließen. Dementsprechend wird der Spannungsverstärkungsfaktor des Summationsverstärkers 17 maximal bei der mechanischen Serienresonanzfrequenz f_s des Vibrators 4, so daß es möglich ist, eine selbsterregte Schwingung des Vibrators 4 durch Stabilisierung bei einer Frequenz hervorzurufen, die in guter Übereinstimmung mit der mechanischen Serienresonanzfrequenz f_s ist. Mit anderen Worten, der Vibrator 4 schwingt bei und nahe seiner Resonanzfrequenz. Die selbsterregte Schwingung bei der mechanischen Serienresonanzfrequenz f_s kann weiter durch Verwendung eines Kondensators C_c mit einer Temperaturabhängigkeit stabilisiert werden, die der Temperaturabhängigkeit der Dämpfungskondensatoren C_d des Vibrators 4 entsprechen.

Die Ausgabe des Summationsverstärkers 17 besteht nur aus dem Realteil der Ströme, die in dem piezoelektrischen Element 2 und 3 fließen. Wenn die Ersatzwiderstände der piezoelektrischen Elemente 2 und 3 zu- oder abnehmen, nehmen die Ströme, die durch die piezoelektrischen Elemente 2 und 3 fließen, deshalb entsprechend ab oder zu, so daß der Pegel des Ausgangssignals des Komparators 23 in der Ansteuerungsvorrichtung 61 fällt oder ansteigt. Deshalb nimmt der Widerstand zwischen der Source und Drain des FET der Schwingungssteuerungseinrichtung 24 zu oder ab, so daß die Größe des Signals, das dem invertierenden Verstärker 26 zugeführt wird, zu- oder abnimmt, bis die Signaleingabe in den Komparator 23 einen festen Wert erreicht, der dem Referenzpegel entspricht.

Auf diese Weise wird die Ausgangsspannung des Summationsverstärkers 17, d.h. der kombinierte Strom, der durch die piezoelektrischen Elemente 2 und 3 fließt, von dem ein Strom entsprechend der Dämpfungskapazität abgezogen worden ist, konstant gehalten, so daß der Ersatzwiderstand des Vibrators 4 bei der selbsterregten Schwingungsrichtung scheinbar konstant bleibt. Als Ergebnis wird der Ersatzwiderstand auf Schwingung in der Empfindlichkeitsrichtung des Vibrators 4, der durch dieselben piezoelektrischen Elemente 2 und 3 gebildet wird, scheinbar ebenfalls konstant gehalten, so daß die Detektionsempfindlichkeit der Eingangswinkelgeschwindigkeit ebenfalls unabhängig von Änderungen der Umgebungstemperatur konstant gehalten wird, wodurch eine Detektion mit hoher Genauigkeit möglich wird.

Ein alternatives Beispiel einer Ansteuerungsvorrichtung 61 für Fig. 4 ist in Fig. 5B gezeigt. Hier besitzt ein Rückkopplungswiderstand R_{f26} des invertierenden Verstärkers 26 einen Thermistor R_T mit negativer Charakteristik, der eine Temperaturabhängigkeit aufweist, die sich von der Temperaturabhängigkeit der Dämpfungskapazität des Vibrators 4 unterscheidet, so daß sich die Ausgabe des invertierenden Verstärkers 26 in anderer Weise von der Temperaturabhängigkeit der Dämpfungskapazitäten des Vibrators 4 ändert. Wenn beispielsweise die jeweiligen Dämpfungskapazitäten der piezoelektrischen Elemente 2 und 3 aufgrund von Änderungen der Umgebungstemperatur zu- oder abnehmen, nimmt der Strom, der durch die Dämpfungskapazitätsseite der piezoelektrischen Elemente 2 und 3 fließt, entsprechend zu oder ab, während der Spannungsverstärkungsfaktor des invertierenden Verstärkers 26 gleichzeitig ab- oder zunimmt. Dem entsprechend wird der Strom, der in den Dämpfungskapazitäten der piezoelektrischen Elemente 2 und 3 fließt, ungleich zu dem Strom, der von dem Kompensationssignalausgangsanschluß 13 über den Kondensator C_c zugeführt wird, und wird deshalb ausgelöscht.

Die Temperaturabhängigkeit der Ströme, die jeweils durch die Seiten des Ersatzwiderstandes und die Seiten der Dämpfungskapazität des Vibrators 4 fließen, haben ähnliche Tendenzen, so daß die Beträge der Zunahme oder Abnahme im Strom, der durch die Seiten der Ersatzwiderstände fließt, unterdrückt werden und Amplitudenänderungen im Signal, das dem Eingangsanschluß 14 der Ansteuerungsvorrichtung 61 zugeführt wird,

ebenfalls zu einem geringen Grad unterdrückt werden. Dementsprechend werden Änderungen in der Ausgabe des Komparators 23, die durch Temperaturveränderungen verursacht werden, klein, so daß der Betrag der Änderung im Widerstand zwischen der Source und Drain des FET der Amplitudensteuereinrichtung 24 klein wird. Als Ergebnis werden die Stromänderungen auch bei weiten Änderungen in den Ersatzwiderständen des Vibrators 4 über einen großen Bereich klein, so daß der funktionsfähige Bereich des AGC-Schaltkreises 28 wesentlich verbreitert wird.

Ebenfalls wird der Imaginärteil des Stroms, der in den piezoelektrischen Elementen 2 und 3 fließt, wirksam durch ein Kompensationssignal ausgelöscht, das der Temperaturabhängigkeit der Dämpfungskapazität entspricht, so daß er scheinbar konstant gehalten wird, auch hinsichtlich des Ersatzwiderstandes auf eine Schwingung in der Empfindlichkeitsrichtung des Vibrators 4 mit denselben piezoelektrischen Elementen 2 und 3.

Dementsprechend wird der Spannungsverstärkungsfaktor des Differenzverstärkers 17 maximal bei der mechanischen Serienresonanzfrequenz f_s des Vibrators 4. Da der Vibrator 4 in eine selbsterregte Schwingung versetzt wird, die bei einer Frequenz in guter Übereinstimmung mit der mechanischen Serienresonanzfrequenz f_s stabilisiert wird, wird die Detektionsempfindlichkeit für die Eingangswinkelgeschwindigkeit unabhängig von der Änderung der Umgebungstemperatur konstant gehalten, wodurch eine Detektion mit hoher Genauigkeit möglich gemacht wird.

Fig. 6 zeigt Beispiel 4 der Erfindung. Dieses Beispiel ist ähnlich zur Fig. 1 mit der Ausnahme, daß es die Ansteuerungsvorrichtung 60 durch die Ansteuerungsvorrichtung 61 mit dem Kompensationssignalausgangsanschluß 13 ersetzt, wie in den Figuren 5A oder 5B gezeigt. Dieses Kompensationssignal wird mit den Signalen der Elektroden auf den anderen Seiten der piezoelektrischen Elemente 2 und 3 über den Kondensator Cc kombiniert. Dementsprechend, wie in Beispiel 3, können die Ersatzwiderstände für die Schwingung in der Empfindlichkeitsrichtung des Vibrators 4, der aus denselben piezoelektrischen Elementen 2 und 3 gebildet wird, scheinbar konstant gehalten werden. Deshalb kann die Detektionsempfindlichkeit für die Eingangswinkelgeschwindigkeit unabhängig von Änderungen in der Umgebungstemperatur konstant gehalten werden.

wodurch es möglich gemacht wird, die Winkelgeschwindigkeit mit hoher Genauigkeit zu erfassen.

Fig. 7 zeigt Beispiel 5 der Erfindung. Dieses Beispiel ist ähnlich zu Fig. 3, mit der Ausnahme, daß es anstelle der Ansteuerungsvorrichtung 60 eine Ansteuerungsvorrichtung 61 mit dem Kompensationssignalausgangsanschluß 13 verwendet, wie in den Figuren 5A oder 5B gezeigt. Dieses Kompensationssignal fließt durch den Kondensator C_c und wird mit den Signalen der beiden anderen Elektroden der piezoelektrischen Elemente 2 und 3 kombiniert.

Dementsprechend können zusätzlich zu dem Effekt des Beispiels 2 die Ersatzwiderstände für die Schwingung in der Empfindlichkeitsrichtung des Vibrators 4, der durch dieselben piezoelektrischen Elemente 2 und 3 gebildet wird, scheinbar konstant gehalten werden, unabhängig von Änderungen in der Umgebungstemperatur. Die Detektionsempfindlichkeit für die Eingangswinkelgeschwindigkeit kann konstant gehalten werden, so daß es möglich ist, die Winkelgeschwindigkeit mit einer noch höheren Genauigkeit zu erfassen.

Fig. 8 zeigt Beispiel 6 der Erfindung. Dieses Beispiel ist ähnlich zu Fig. 1, mit der Ausnahme, daß es anstelle der Ansteuerungsvorrichtung 60 die Ansteuerungsvorrichtung 61 mit dem Kompensationssignalausgangsanschluß 13 verwendet, wie in den Figuren 5A und 5B gezeigt. Dieses Kompensationssignal fließt durch den Kondensator C_c und wird mit den Signalen der beiden anderen Elektroden der piezoelektrischen Elemente 2 und 3 kombiniert. Die Ausgabe des Summationsverstärkers 17 und das Kompensationssignal werden im Summationsverstärker 21 kombiniert. Die Ausgabe des Summationsverstärkers 21 wird über einen variablen Widerstand VR den Rückkopplungsanschlüssen 12L und 12R zugeführt, wie in Fig. 3.

Dementsprechend, wie in Beispiel 3, können die Ersatzwiderstände für die Schwingung in der Empfindlichkeitsrichtung des Vibrators 4, der aus denselben piezoelektrischen Elementen 2 und 3 gebildet wird, scheinbar konstant gehalten werden, unabhängig von Änderungen in der Umgebungstemperatur, so daß die Detektionsempfindlichkeit für die

Eingangswinkelgeschwindigkeit konstant gehalten werden kann. Sehr kleine Unterschiede in den Ersatzwiderständen der piezoelektrischen Elemente 2 und 3 werden durch einen variablen Widerstand VR kompensiert, wenn die kombinierte Signalausgabe vom Verstärker 21 in die Rückkopplungseingangsanschlüsse 12L und 12R fließt. Als Ergebnis variiert der Strom, der in die Rückkopplungseingangsanschlüsse 12L und 12R fließt, in Übereinstimmung mit den Strömen, die in den Ersatzwiderständen der piezoelektrischen Elemente 2 und 3 fließen, und mit ihren Temperaturabhängigkeiten. Dementsprechend fließen nur Ströme, die genau der Coriolis-Kraft entsprechen, in die Rückkopplungswiderstände R_{fL} und R_{fR} der Rückkopplungsverstärker 10L und 10R, so daß die Bildung einer niedrigen Spannung in den Rückkopplungswiderständen 10L und 10R wirksamer vermindert wird. Die Phasenkomponente für die Eingangswinkelgeschwindigkeit kann verstärkt werden. Es ist ebenfalls möglich, die oben beschriebene Detektionsempfindlichkeit konstant zu halten und die Winkelgeschwindigkeit mit einer noch höheren Genauigkeit zu erfassen.

Fig. 9 zeigt Beispiel 7 der Erfindung. In diesem Beispiel wird der Signalausgangsanschluß 9 der Ansteuerungsvorrichtung 62 jeweils mit den Signaleingangsanschlüssen 11L und 11R der Rückkopplungsverstärker 10L und 10R verbunden. Die Signaleingangsanschlüsse 11L und 11R der Rückkopplungsverstärker 10L und 10R werden mit den jeweiligen Einzelelektroden der piezoelektrischen Elemente 2 und 3 verbunden, so daß das Ansteuerungssignal dem Vibrator zugeführt wird. Die anderen Elektroden der piezoelektrischen Elemente 2 und 3 werden geerdet. Die Ausgaben der Rückkopplungsverstärker 10L und 10R werden kombiniert und dem Eingangsanschluß 14 der Ansteuerungsvorrichtung 62 zugeführt, um eine selbsterregte Schwingung in dem Vibrator 4 hervorzurufen, während die Ausgaben des Rückkopplungsverstärkers 10L und 10R dem Differenzverstärker 20 zugeführt werden, so daß die Coriolis-Kraft, die von der Winkelschwingung herrührt, die auf den Vibrator 4 einwirkt, als Spannung erfaßt werden kann.

Fig. 10A zeigt ein Beispiel einer in Fig. 9 gezeigten Ansteuerungsvorrichtung 62. Diese Ansteuerungsvorrichtung 62 ist ähnlich zu Fig. 2, mit der Ausnahme, daß sie einen invertierenden Verstärker 30 vor dem Komparator 23 vorsieht und das Signal, das am

Eingangsanschluß 14 zugeführt wird, wird invertiert und dem Komparator 23 zugeleitet. Mit anderen Worten, während das Rückkopplungssignal, das dem Eingangsanschluß der Ansteuerungsvorrichtung zugeführt wird, in dem vorigen Beispiel eine Phase hatte die relativ zu dem Eingangssignal durch die Ausgabe des Summationsverstärkers 17 invertiert war, ist hier das Rückkopplungssignal, das dem Eingangsanschluß 14 der Ansteuerungsvorrichtung 62 zugeführt wird, ein kombiniertes Signal aus den Ausgaben der Rückkopplungsverstärker 10L und 10R und ist gleichphasig mit dem Ansteuerungssignal. Deshalb wird das Rückkopplungssignal durch die invertierenden Verstärker 30 invertiert und dem Komparator 23 zugeführt.

In diesem Beispiel ist die Ausgabe des Rückkopplungsverstärkers 10L und 10R eine Spannung, die das Produkt der Ströme darstellt, die durch die piezoelektrischen Elemente 2 und 3 und die entsprechenden Rückkopplungswiderstände R_{fL} und R_{fR} fließen. Die Spannung entspricht dem kombinierten Strom, der durch die piezoelektrischen Elemente 2 und 3 fließt. Wenn die Amplitude des Ansteuerungssignals, das von der Ansteuerungsvorrichtung 62 mit einem AGC-Schaltkreis 28 ausgegeben wird, gesteuert wird, so daß die Spannung konstant gehalten wird, können die Ersatzwiderstände zur Schwingung in der Empfindlichkeitsrichtung des Vibrators 4, der durch dieselben piezoelektrischen Elemente 2 und 3 gebildet wird, scheinbar konstant gehalten werden, unabhängig von Änderungen in der Umgebungstemperatur. Deshalb kann die Detektionsempfindlichkeit auf die Eingangswinkelgeschwindigkeit konstant gehalten werden und die Winkelgeschwindigkeit mit einer höheren Genauigkeit in derselben Weise wie in Beispiel 1 erfaßt werden. Fig. 10B zeigt eine alternative Ansteuerungsvorrichtung 62 mit einem Ansteuerungssignalausgangsschaltkreis 29, wie er für die Figuren 2B und 5B beschrieben ist.

Fig. 11 zeigt Beispiel 8 der Erfindung. In diesem Beispiel besitzt die Ansteuerungsvorrichtung 63 einen Kompensationssignalausgangsanschluß 13, der das Kompensationssignal der Dämpfungskapazität des Vibrators 4 ausgibt. Dieses Kompensationssignal wird mit den Ausgängen der Rückkopplungsverstärker 10L und 10R kombiniert und somit an den Eingangsanschluß 14 der Ansteuerungsvorrichtung 63 zurückgeführt.

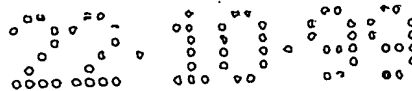
Die Figuren 12A und 12B zeigen Beispiele der in Fig. 11 gezeigten Ansteuerungsvorrichtung 63. Die Ansteuerungsvorrichtung 63 ist ähnlich zu der Ansteuerungsvorrichtung 62, die in den Figuren 10A und 10B gezeigt ist. Abgesehen jedoch von der Hinzufügung eines Rückkopplungsverstärkers 27 und der Zuführung der Ausgabe des nicht-invertierenden Verstärkers 25 an den invertierenden Verstärker 26 führt die Ansteuerungsvorrichtung 63 ebenfalls die Ausgabe des nicht-invertierenden Verstärkers 25 an den nicht-invertierenden Eingangsanschluß des Rückkopplungsverstärkers 27. Der Kondensator C_c ist mit dem invertierenden Eingangsanschluß des Rückkopplungsverstärkers 27 verbunden. Die Ausgabe des Rückkopplungsverstärkers 27 wird als ein Kompensationssignal dem Kompensationssignalausgangsanschluß 13 zugeführt. Mit anderen Worten, die Ansteuerungssignalausgabe des Signalausgangsanschlusses 9 und die Kompensationssignalausgabe am Kompensationssignalausgangsanschluß 13 unterscheiden sich in der Phase um 180° und ihr Amplitudenverhältnis ist durch den invertierenden Verstärker 26 geeignet eingestellt. Alternativ, wie in Fig. 10B gezeigt, kann die Ansteuerungsvorrichtung ein Ansteuerungssignalausgangsschaltkreis 29 mit einem Rückkopplungswiderstand R_{f26} und einem Thermistor R_T wie oben beschrieben, enthalten.

In diesem Beispiel besitzt das Rückkopplungssignal, das dem Eingangsanschluß 14 zugeführt wird, einen Imaginärteil der Ströme, die in den piezoelektrischen Elementen 2 und 3 relativ zu den jeweiligen Dämpfungskapazitäten C_d fließen. Der Imaginärteil des Stroms wird durch den Kompensationsstrom, der über den Kondensator C_c kombiniert wird, ausgelöscht. Deshalb fließt nur der Realteil der Ströme in den piezoelektrischen Elementen 2 und 3. Dementsprechend ist es möglich, eine selbsterregte Schwingung durch Stabilisierung des Vibrators 4 bei einer Frequenz hervorzurufen, die in guter Übereinstimmung mit seiner mechanischen Serienresonanzfrequenz f_s ist. Die selbsterregte Schwingung bei der mechanischen Serienresonanzfrequenz f_s kann durch Verwendung eines Kondensators C_c mit einer Temperaturabhängigkeit, die der Temperaturabhängigkeit der Dämpfungskondensatoren C_d des Vibrators 4 entsprechen, weiter stabilisiert werden.

In der Ansteuerungsvorrichtung 63 wird ebenfalls die Amplitude des Ansteuerungssignals, das an den Signalausgangsanschluß 9 geführt wird, durch den AGC-Schaltkreis 28 gesteuert, und der Pegel des Rückkopplungssignals, das seinem Eingangsanschluß 14 zugeführt wird, wird konstant gehalten. Deshalb werden die Ersatzwiderstände für die Schwingung in der Empfindlichkeitsrichtung des Vibrators 4 mit denselben piezoelektrischen Elementen 2 und 3 scheinbar konstant gehalten, unabhängig von Änderungen in der Umgebungstemperatur. Dementsprechend wird die Detektionsempfindlichkeit der Eingangswinkelgeschwindigkeit konstant gehalten und es ist möglich, die Winkelgeschwindigkeit mit höherer Genauigkeit zu erfassen.

Wie oben in der ersten Ausführungsform der Erfindung beschrieben, wird der kombinierte Stromwert der Ströme, die durch ein Paar piezoelektrische Elemente fließen, konstant gehalten, wodurch es möglich wird, die Ersatzwiderstände des Vibrators scheinbar konstant zu halten, unabhängig von Schwankungen der Umgebungstemperatur. Dementsprechend kann in dem Vibrator eine selbsterregte Schwingung mit einer konstant gehaltenen Amplitude hervorgerufen werden. Bei Verwendung zusammen mit einem Vibrationsgyroskop, das die Winkelgeschwindigkeit unter Verwendung desselben Paares piezoelektrischer Elemente erfaßt, ist es möglich, jede Detektionsempfindlichkeit in der selbsterregten Schwingungsrichtung und der orthogonalen Richtung unabhängig von Änderungen in der Umgebungstemperatur konstant zu halten. Es ist ebenfalls möglich, die Eingangswinkelgeschwindigkeit konstant mit einer hohen Genauigkeit zu erfassen.

Bei der zweiten Ausführungsform der Erfindung wird der kombinierte Strom, der die Ströme umfaßt, die durch ein Paar piezoelektrischer Elemente fließen, und den Strom, der entsprechend den Dämpfungskapazitäten subtrahiert wurde, d.h. den Realteil der kombinierten Ströme, konstant gehalten, so daß die Ersatzwiderstände des Vibrators scheinbar unabhängig von Schwankungen der Umgebungstemperatur konstant gehalten werden. Dementsprechend wird in dem Vibrator eine genauere selbsterregte Schwingung bei einer konstant gehaltenen Amplitude hervorgerufen. Bei Verwendung zusammen mit einem Vibrationsgyroskop, das die Winkelgeschwindigkeit unter Verwendung desselben Paares piezoelektrischer Elemente erfaßt, ist es möglich, die Detektionsempfindlichkeit in der selbsterregten Schwingungsrichtung und der orthogonalen



Richtung unabhängig von Änderungen in der Umgebungstemperatur genauer konstant zu halten. Es ist ebenfalls möglich, die Eingangswinkelgeschwindigkeit mit einer noch höheren Genauigkeit zu erfassen.

Wie oben beschrieben, wird in einer dritten Ausführungsform der Erfindung der kombinierte Stromwert der Ströme, die durch ein Paar piezoelektrischer Elemente fließen, durch einen AGC-Schaltkreis konstant gehalten. Der Spannungsverstärkungsfaktor des Ansteuerungssignalausgabeschaltkreises besitzt eine Temperaturabhängigkeit, die der Temperaturabhängigkeit der Ersatzwiderstände des Vibrators entspricht. Als Ergebnis besitzt der AGC-Schaltkreis auch bei Änderungen in der Umgebungstemperatur einen ausreichenden Spielraum. Änderungen im Strom, der in den Vibrator fließt, werden unterdrückt. Es ist möglich, die Ersatzwiderstände des AGC-Schaltkreises scheinbar konstant zu halten. Dementsprechend kann in dem Vibrator eine stabilisierte selbsterregte Schwingung ohne Amplitudenänderung hervorgerufen werden. Bei Verwendung mit einem Vibrationsgyroskop, das die Winkelgeschwindigkeit unter Verwendung desselben Paares piezoelektrischer Elemente erfaßt, ist es möglich, die Detektionsgenauigkeit ohne Temperaturabhängigkeit der Detektionsempfindlichkeit in Bezug zur Eingangswinkelgeschwindigkeit zu erhöhen.

Bei der vierten Ausführungsform der Erfindung wird der kombinierte Stromwert der Ströme, die durch ein Paar piezoelektrischer Elemente fließen, von dem der Strom, der den Dämpfungskapazitäten entspricht, abgezogen wird, d.h. der Realteil des kombinierten Stroms, durch den AGC-Schaltkreis konstant gehalten. Gleichzeitig wird dem Spannungsverstärkungsfaktor des Ansteuerungssignalausgabeschaltkreises eine Temperaturabhängigkeit zugeführt, die sich von der Temperaturabhängigkeit der Dämpfungskapazitäten des Vibrators unterscheidet, so daß dem AGC-Schaltkreis trotz der Änderungen der Umgebungstemperaturen ausreichender Spielraum gegeben wird. Änderungen in dem Strom, der in dem Vibrator fließt, werden unterdrückt. Es ist möglich, die Ersatzwiderstände scheinbar konstant zu halten. Dementsprechend kann in dem Vibrator eine stabilisierte selbsterregte Schwingung ohne Amplitudenänderungen hervorgerufen werden. Bei Verwendung mit einem Vibrationsgyroskop, das die Winkelgeschwindigkeit unter Verwendung desselben Paares piezoelektrischer Elemente erfaßt, ist es möglich,

die Detektionsgenauigkeit ohne Temperaturabhängigkeit der Detektionsempfindlichkeit bezüglich zur Eingangswinkelgeschwindigkeit zu erhöhen.

Die oben beschriebenen Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung haben nur die Absicht, die Erfindung darzustellen. Verschiedene alternative Ausführungsformen können vom Fachmann, ohne vom Umfang der folgenden Ansprüche abzuweichen, abgeleitet werden.

AZ: 95 110 433.0

MITSUBISHI ELECTRIC CORPORATION

Patentansprüche

1. Schwingungssteuerungsvorrichtung mit einer Ansteuerungsvorrichtung (60), einem Vibrator (4) mit einem Vibrationselement mit zumindest einer Seitenoberfläche mit einem Resonanzpunkt und einem ersten und zweiten piezoelektrischen Element (2, 3) auf der zumindest einen Seitenoberfläche, wobei die Ansteuerungsvorrichtung (60) einen automatischen Verstärkungsfaktorsteuerschaltkreis (28) umfaßt, der eine selbstinduzierte Schwingung des Vibrators (4) hervorruft,

dadurch gekennzeichnet, daß

der automatische Verstärkungsfaktorsteuerschaltkreis (28) einen kombinierten Stromwert der jeweiligen Ströme auf einem festen Wert hält, die durch das erste und das zweite piezoelektrische Element (2, 3) fließen.

2. Schwingungssteuerungsvorrichtung mit einer Ansteuerungsvorrichtung (60), einem Vibrator (4) mit einem Vibrationselement mit zumindest einer Seitenoberfläche mit einem Resonanzpunkt und einem ersten und zweiten piezoelektrischen Element (2, 3) auf der Seitenoberfläche, wobei die Ansteuerungsvorrichtung (60) einen automatischen Verstärkungsfaktorsteuerschaltkreis (28) umfaßt, der eine selbstinduzierte Schwingung des Vibrators (4) hervorruft,

dadurch gekennzeichnet, daß

der automatische Verstärkungsfaktorsteuerschaltkreis (28) einen kombinierten Stromwert der Ströme, die durch das erste und zweite piezoelektrische Element (2, 3) fließen, von dem Strom entsprechend einer Dämpfungskapazität subtrahiert ist, auf einem festen Wert hält.

3. Schwingungssteuerungsvorrichtung mit:

einer Ansteuerungsvorrichtung (60),

einem Vibrator (4) mit einem Vibrationselement mit zumindest einer Seitenoberfläche mit einem Resonanzpunkt,

einem ersten und zweiten piezoelektrischen Element (2, 3) auf der Seitenoberfläche, wobei die Ansteuerungsvorrichtung (60) eine selbstinduzierte Schwingung des Vibrators (4) hervorruft,

gekennzeichnet durch

einen Ansteuerungssignalausgabeschaltkreis (29), der ein Ansteuerungssignal ausgibt, das dem ersten und dem zweiten piezoelektrischen Element (2, 3) zugeführt wird und das einen Spannungsverstärkungsfaktor mit einer Temperaturabhängigkeit aufweist, die Temperaturabhängigkeiten der Ersatzwiderstände des Vibrators (4) entspricht, und

einen automatischen Verstärkungsfaktorsteuerschaltkreis (28), der einen kombinierten Stromwert der Ströme, die durch das erste und zweite piezoelektrische Element (2, 3) fließen, auf einem festen Wert hält.

4. Schwingungssteuerungsvorrichtung mit:

einer Ansteuerungsvorrichtung (60),

einem Vibrator (4) mit einem Vibrationselement mit einer Seitenoberfläche mit einem Resonanzpunkt,

einem ersten und zweiten piezoelektrischen Element (2, 3) auf der Seitenoberfläche, wobei die Ansteuerungsvorrichtung (60) eine selbstinduzierte Schwingung des Vibrators (4) hervorruft,

gekennzeichnet durch

einen Ansteuerungssignalausgabeschaltkreis (29), der ein Ansteuerungssignal ausgibt, das dem ersten und zweiten piezoelektrischen Element (2, 3) zugeführt wird und das einen Spannungsverstärkungsfaktor mit einer Temperaturabhängigkeit aufweist, die entgegengesetzt zu Temperaturabhängigkeiten der Ersatzwiderstände des Vibrators (4) ist, und

einen automatischen Verstärkungsfaktorsteuerschaltkreis (28), der einen kombinierten Stromwert der Ströme, die durch das erste und zweite piezoelektrische Element (2,3) fließen, wobei Strom entsprechend einer Dämpfungskapazität subtrahiert ist, auf einem festen Wert hält.

1/27 10:00

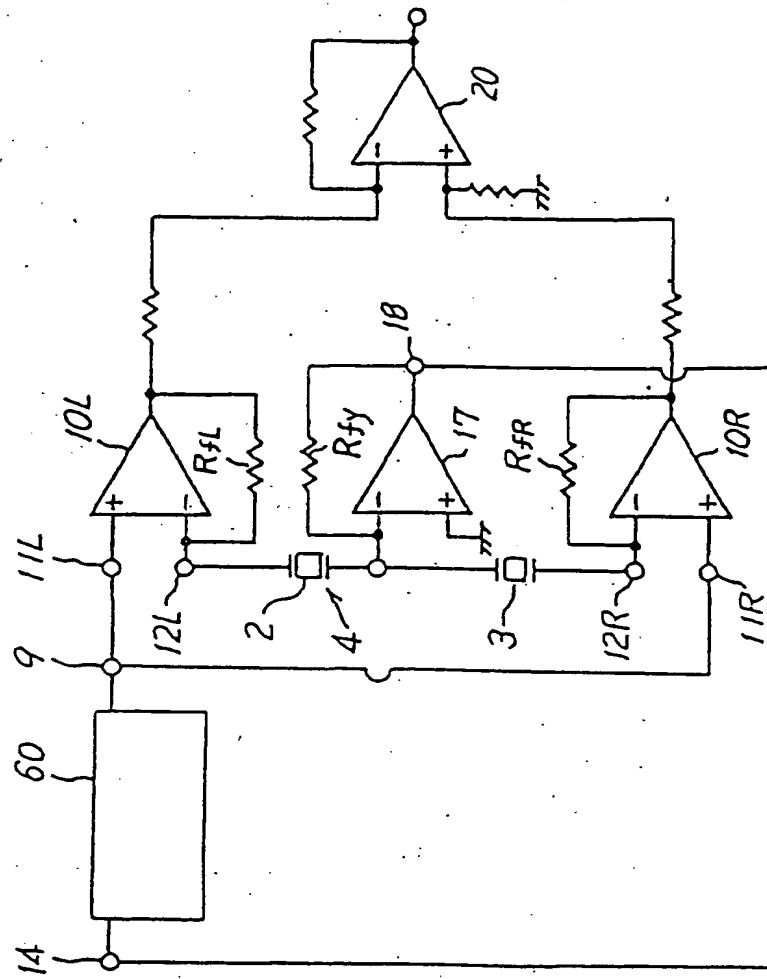


FIG. 1

2/2 10:00

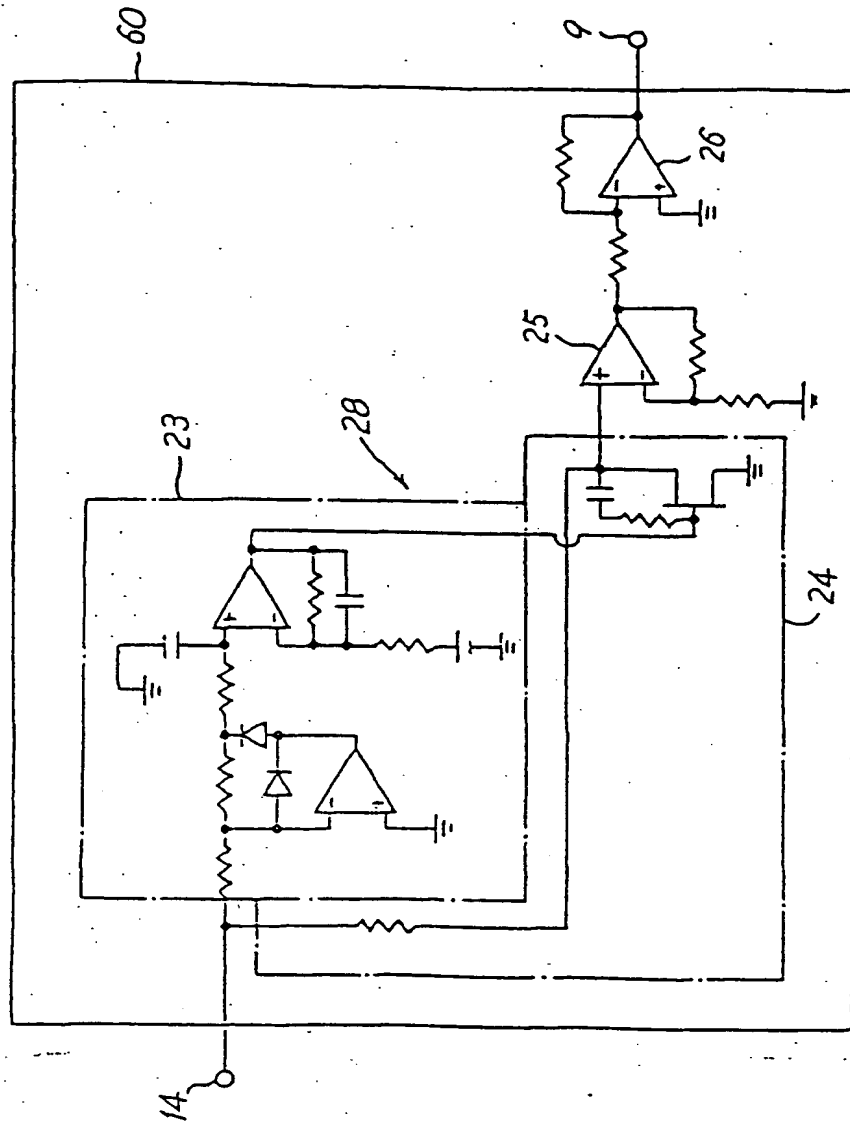


FIG. 2A

3/21.0.00

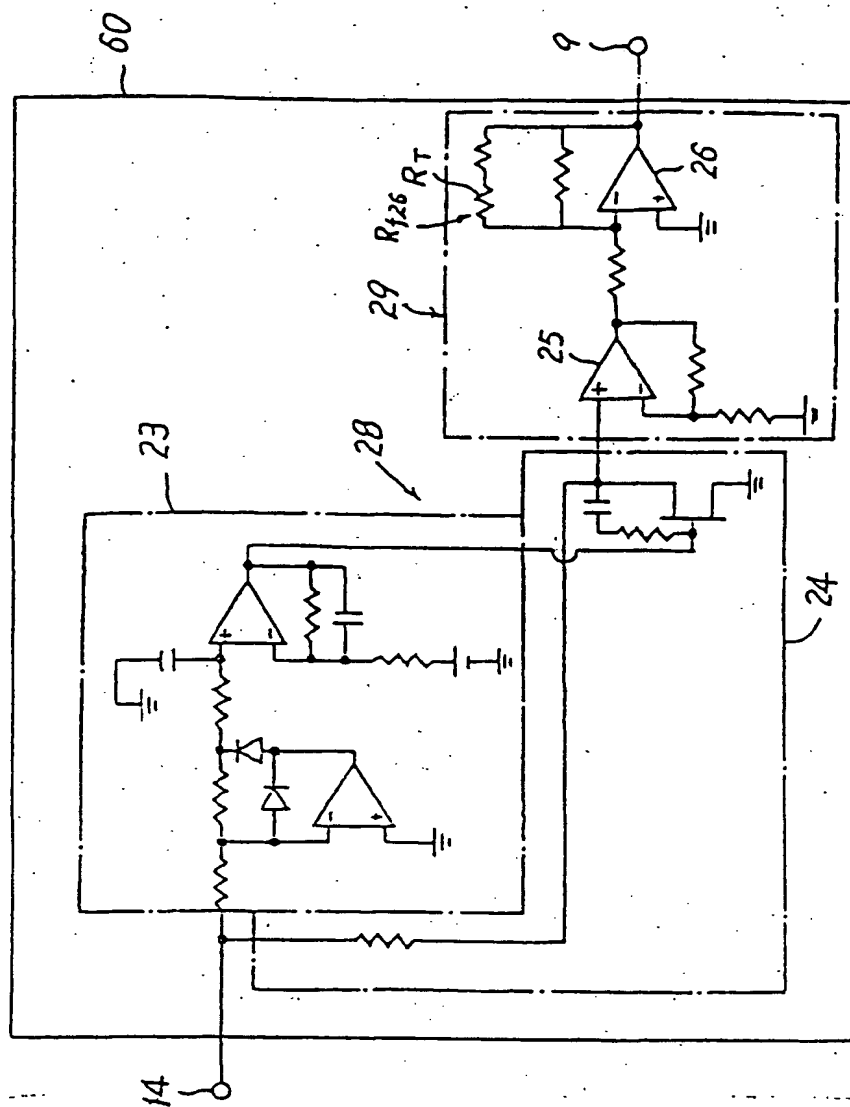


FIG. 2B

4/21 09:10:00

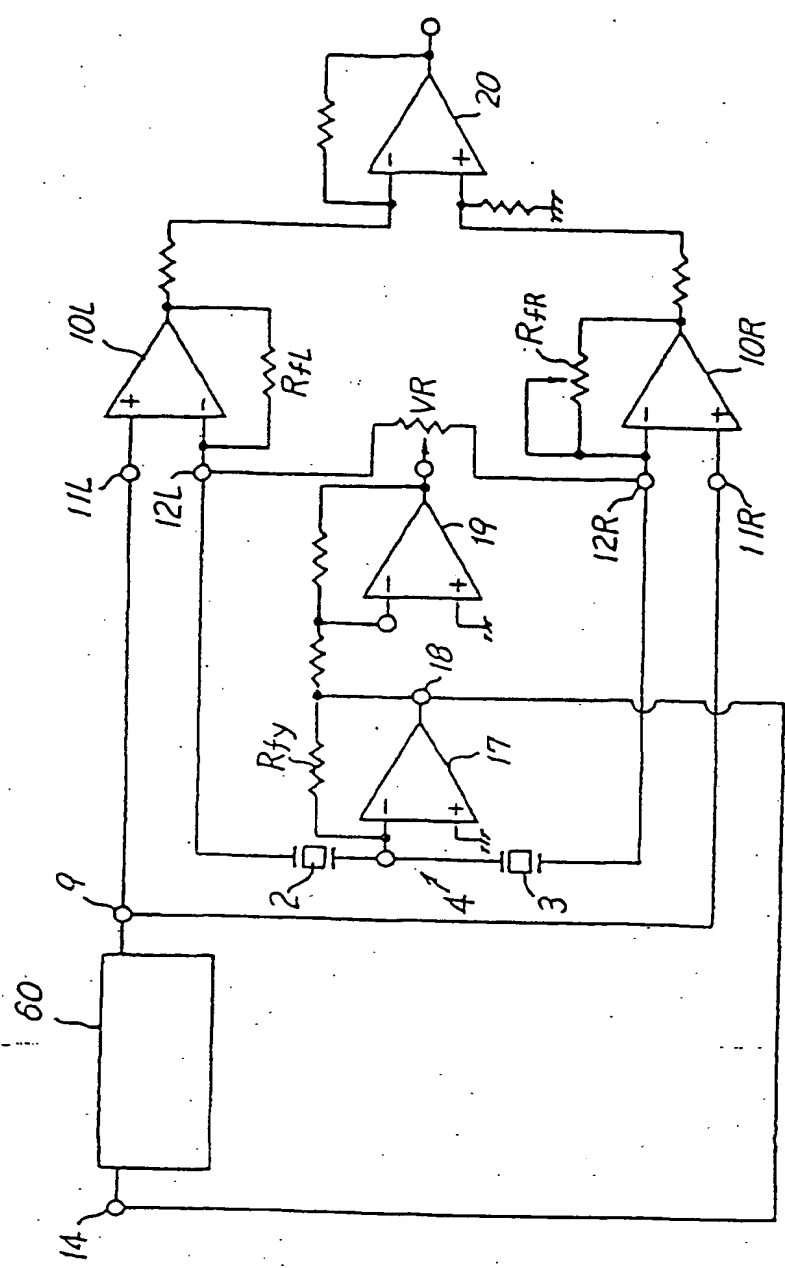


FIG. 3

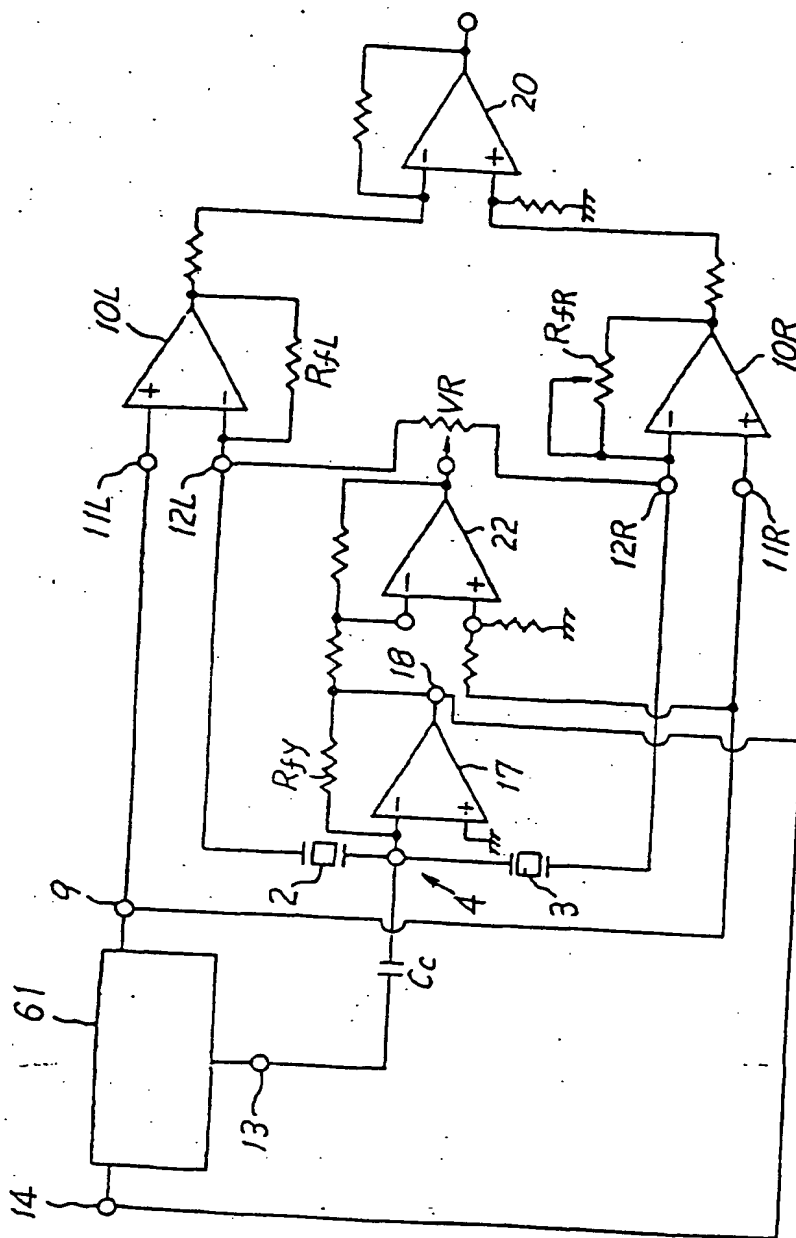


FIG. 4

6124 10-99

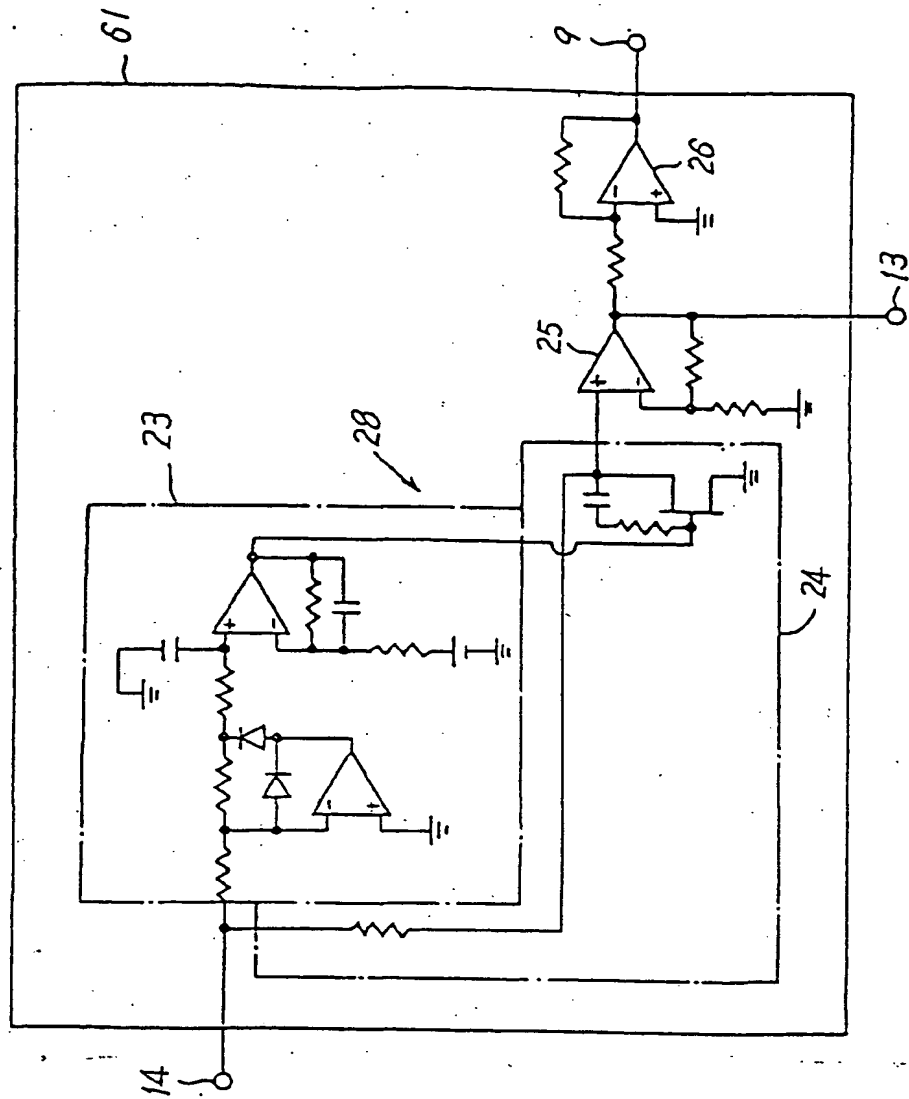


FIG. 5A

7/21 10:00

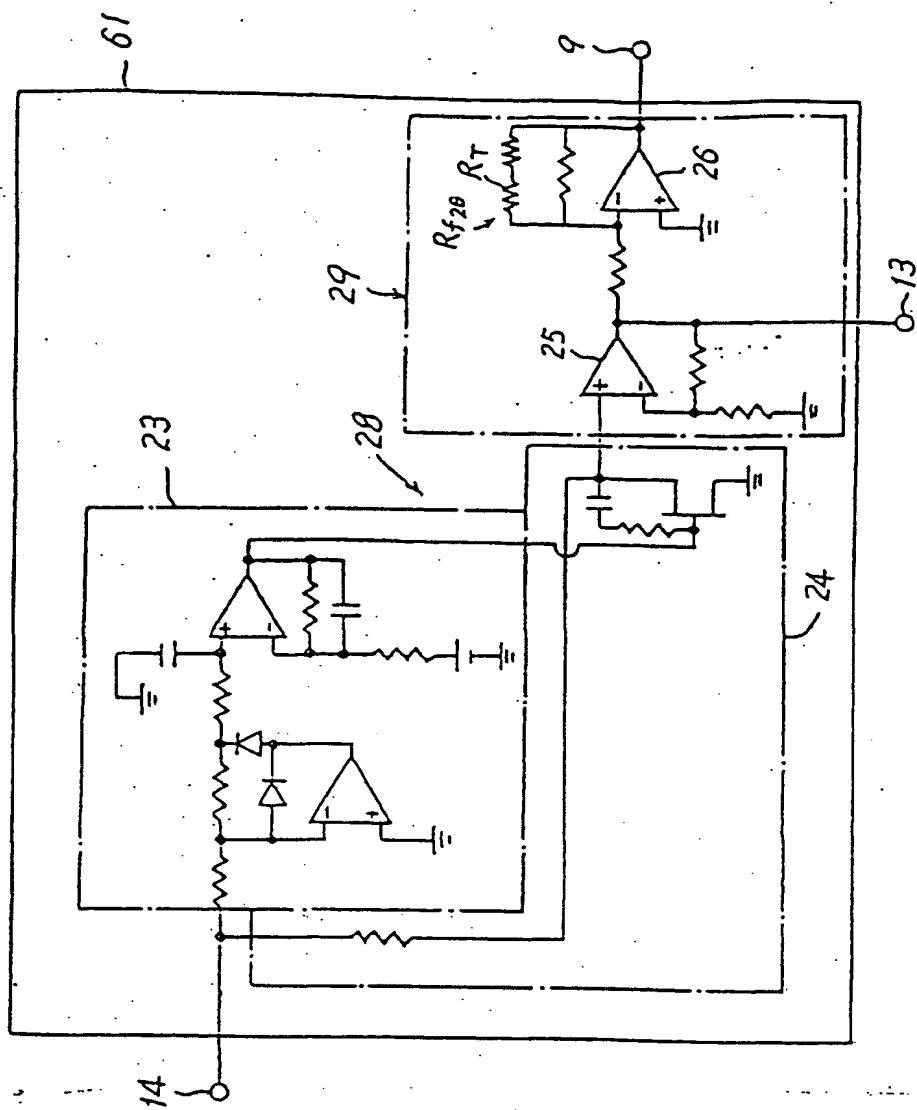


FIG. 5B

12.10.99

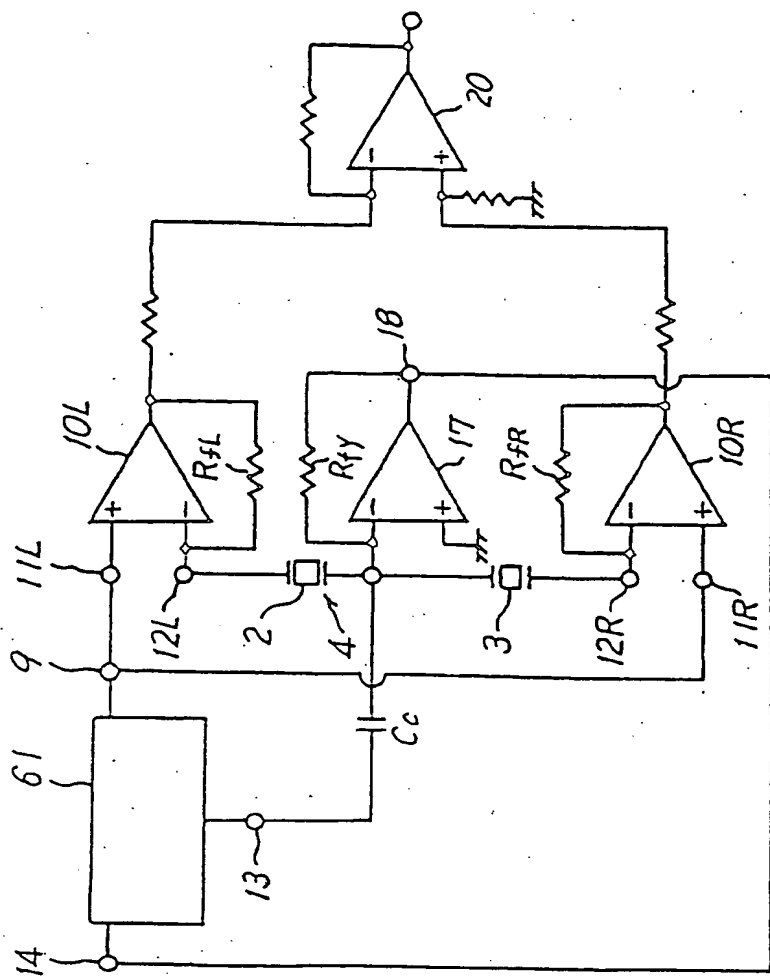


FIG. 6

9/21 10:09

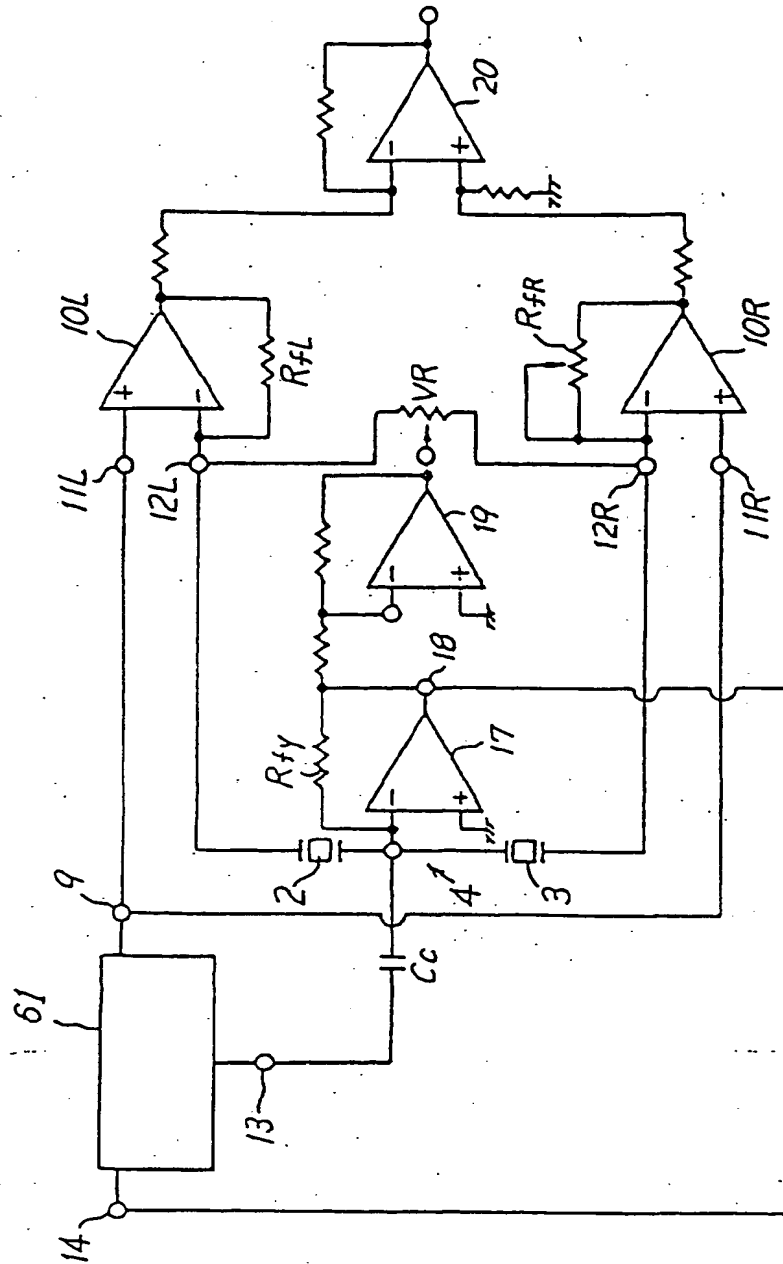


FIG. 7

FIG. 8

The circuit diagram shows a differential amplifier with two input op-amps, 10L and 10R. The non-inverting inputs of 10L and 10R are connected to a common-mode input signal 14 through a resistor 62. The inverting inputs of 10L and 10R are connected to feedback resistors R_{fL} and R_{fR} respectively, which are connected to the outputs 12L and 12R. The outputs 12L and 12R are also connected to a third op-amp 20. The non-inverting input of 20 is connected to the output 12R through a resistor, and the inverting input of 20 is connected to the output 12L through a resistor. The output of 20 is connected to the non-inverting input of 10R through a resistor. The circuit is powered by a common-mode input signal 14 and a ground connection 9.

FIG. 9

42/21 10 99

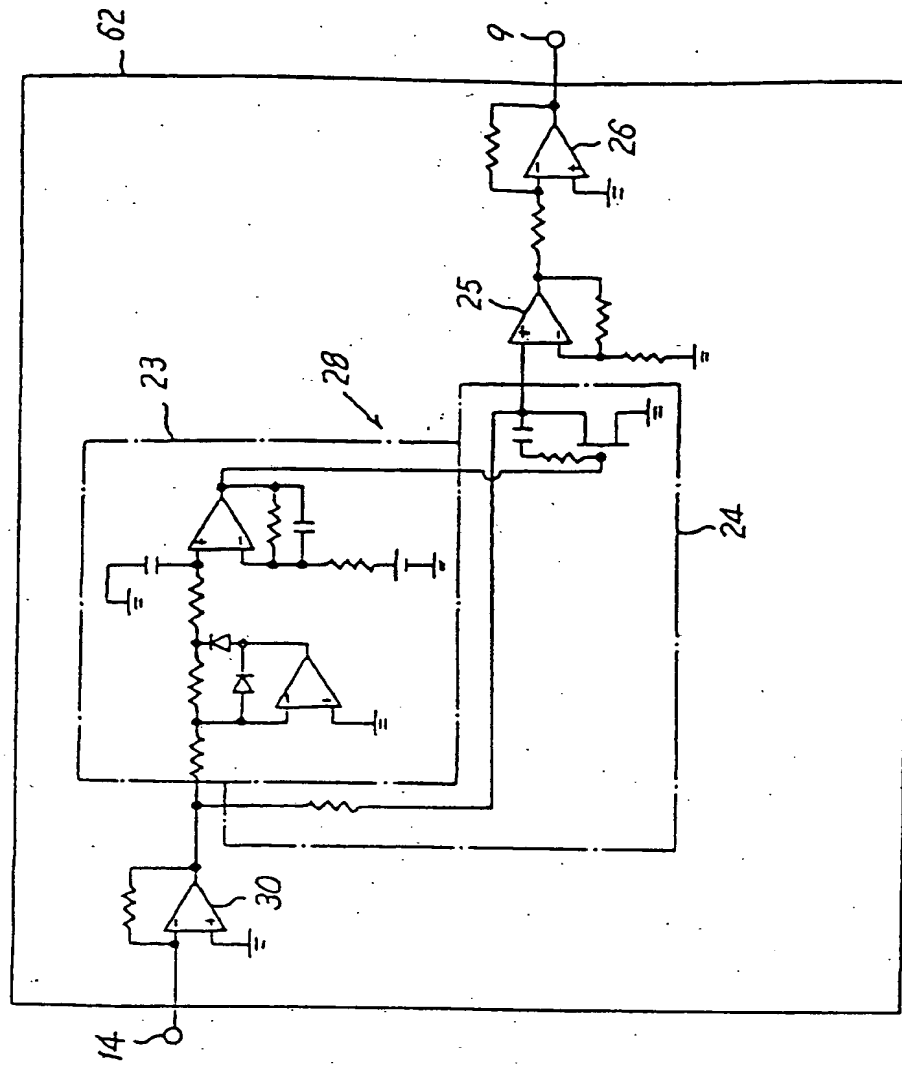


FIG. 10A

131240 00

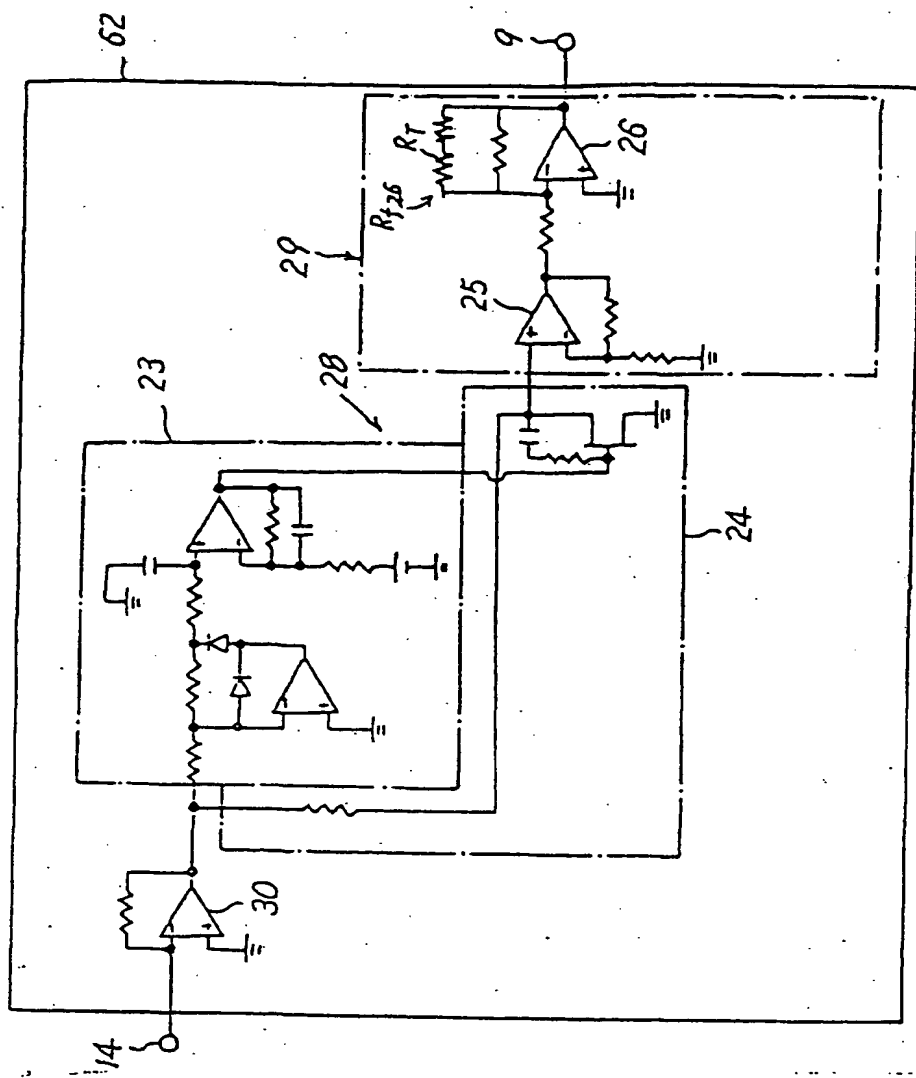


FIG. 10B

14/21 10:09

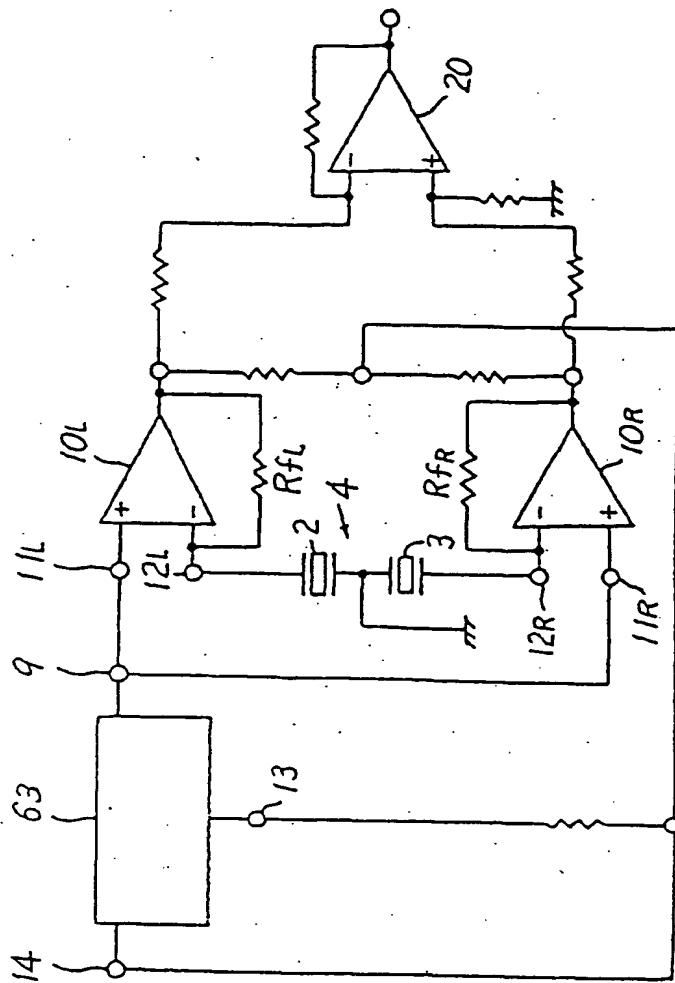


FIG. 11

30.0000
15/2A

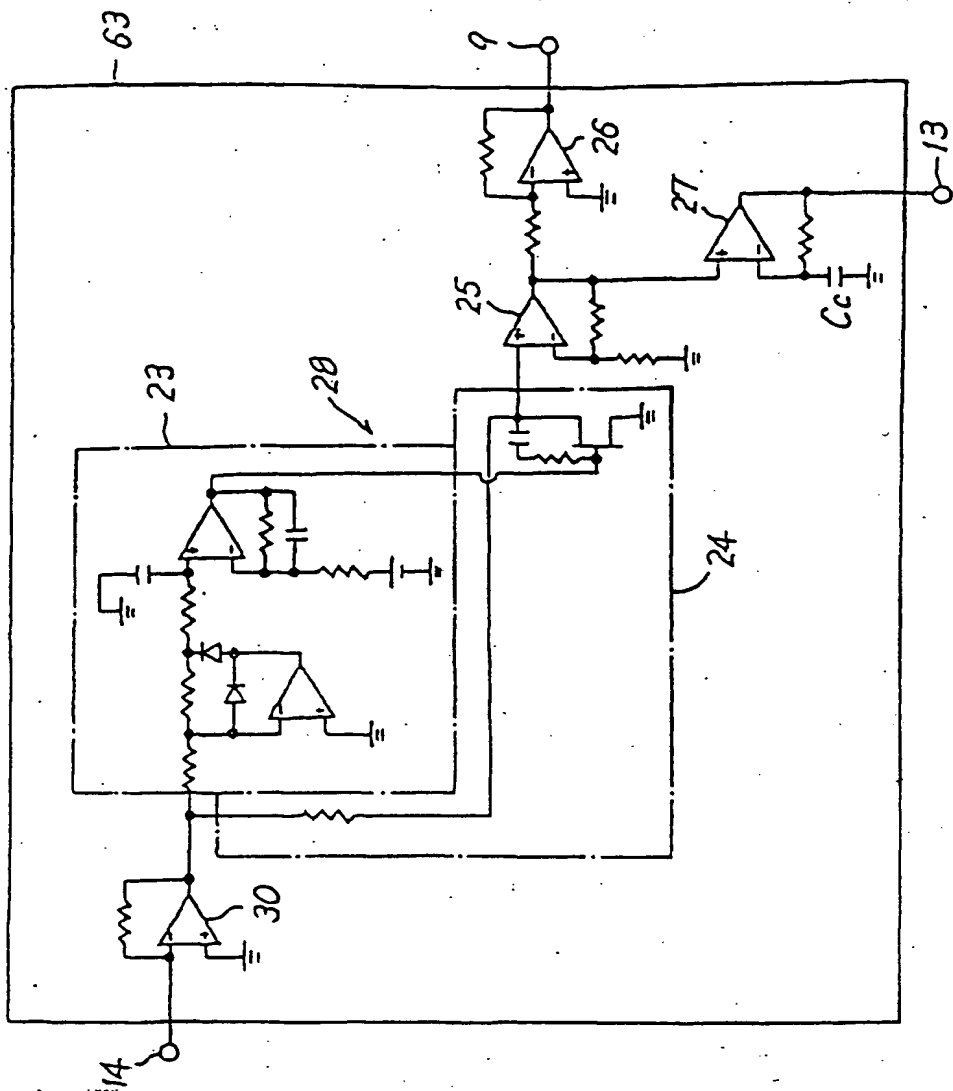


FIG. 12A

[illegible]

FIG. 12B

22/10/99
12/21

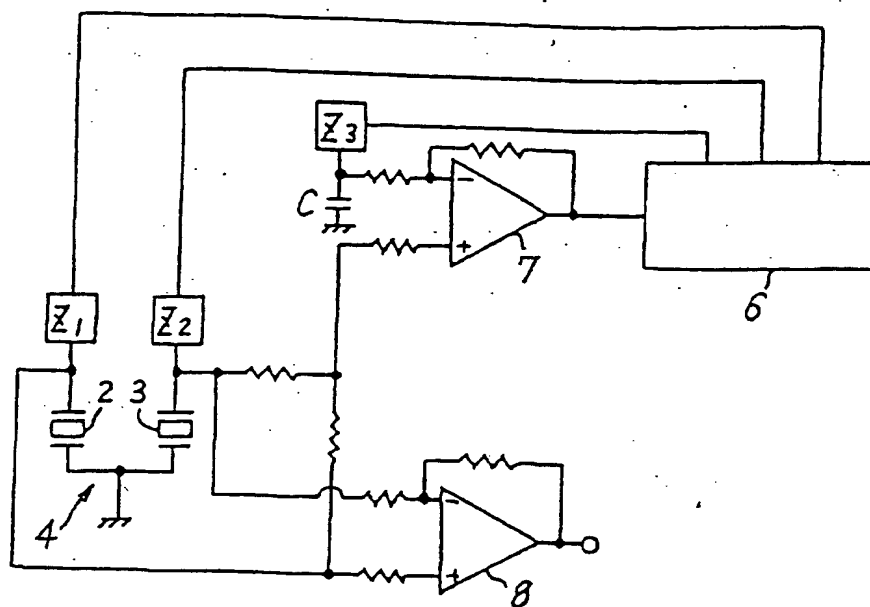


FIG. 13

STAND DER TECHNIK

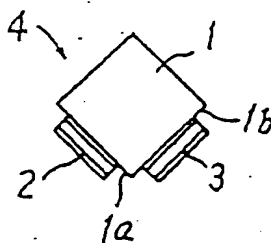


FIG. 14

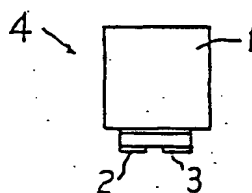


FIG. 15

2010-09-21

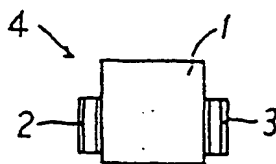


FIG. 16

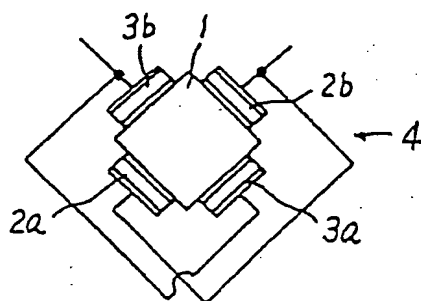


FIG. 17

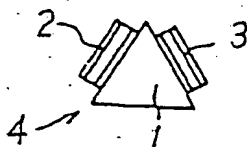


FIG. 18

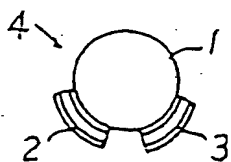


FIG. 19

49/2/10.99

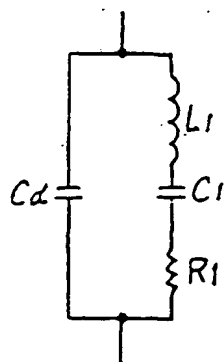


FIG. 20

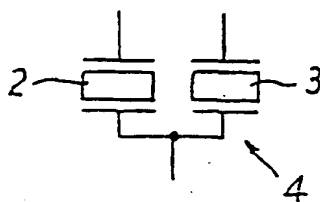


FIG. 21

2010-09

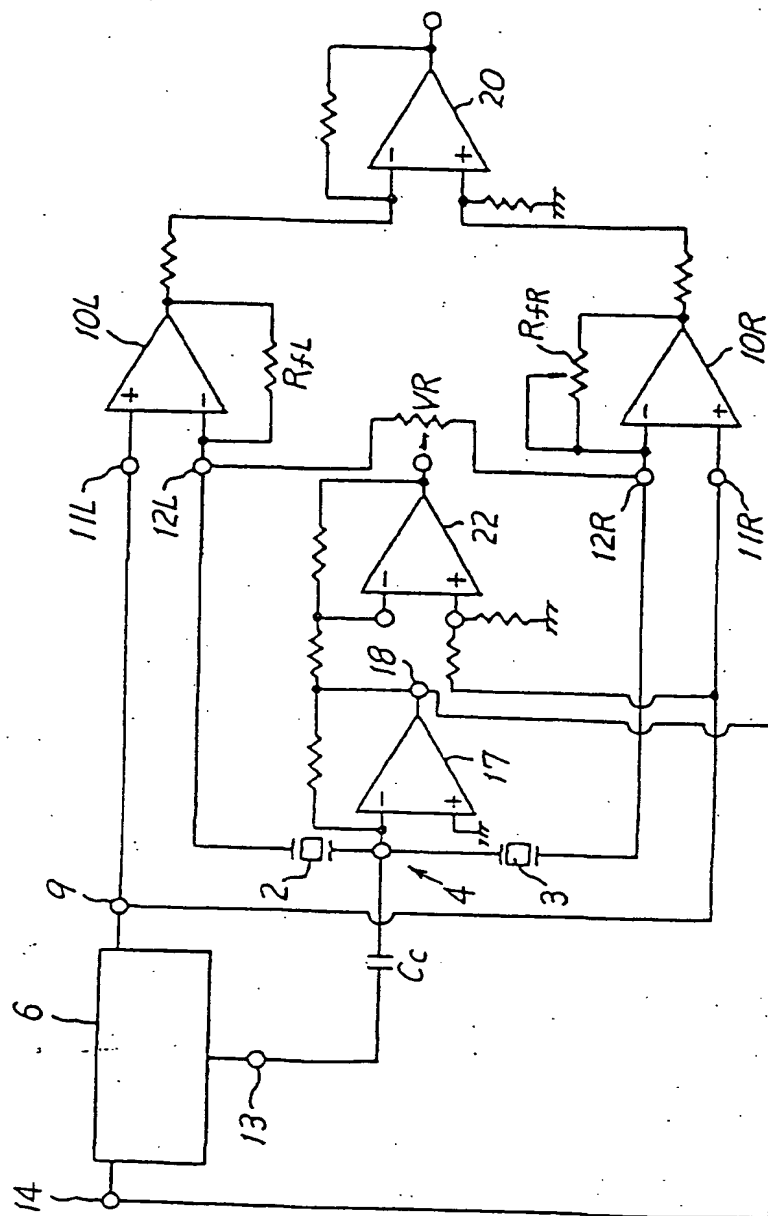


FIG. 22

21/21.10.99

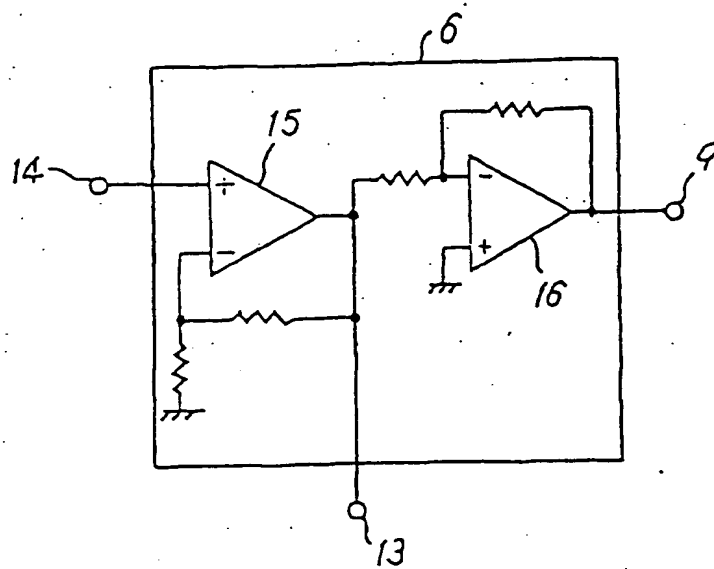


FIG. 23

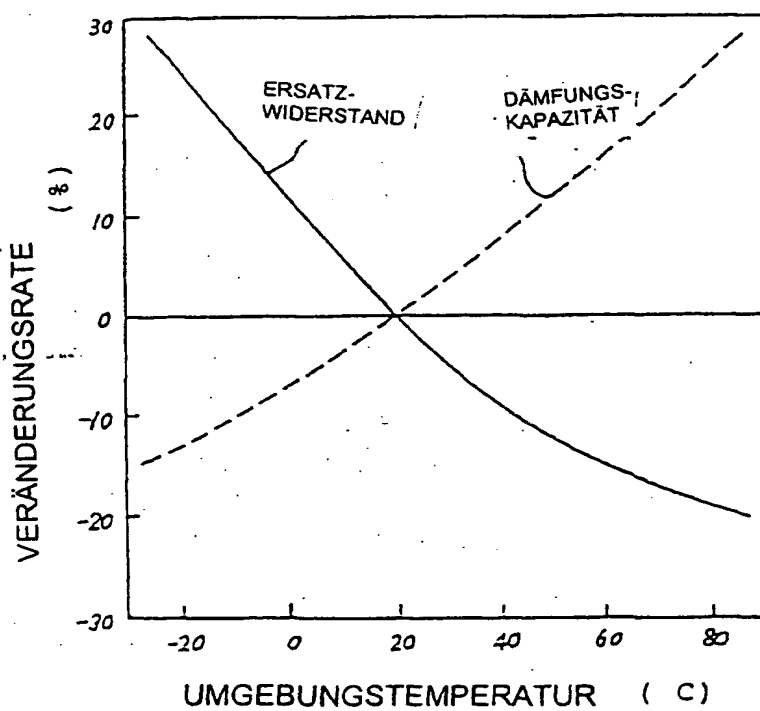


FIG. 24

